



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Mejora del rendimiento hidráulico de la estación de
bombeo del proyecto de derivación Huascacocha –
Rímac**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Eric Lenin CUELLAR AGUIRRE

ASESOR

Miguel Ángel ORMEÑO VALERIANO

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cuellar, E. (2020). *Mejora del rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac*. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código Orcid del autor (dato opcional):

Código Orcid del asesor o asesores (dato obligatorio):

DNI del autor:

43462697

Grupo de investigación:

Institución que financia parcial o totalmente la investigación:

UNMSM

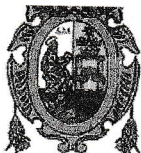
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación. Debe incluir localidades y coordenadas geográficas

CIUDAD UNIVERSITARIA - LIMA

Coordenadas 12°3'30" S, 77°5'0" W

Año o rango de años que la investigación abarcó:

2016 al 2019



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS
MODALIDAD (M-1)

Siendo las 18:00 horas del martes 04 de febrero de 2020, en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Dr. Ing. CÉSAR ALEJANDRO QUISPE GONZÁLES y con la asistencia del asesor Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VAERIANO, y miembros Ing. JOSÉ FELICIANO JUÁREZ CÉSPEDES y Mg. Ing. ENOCH AURELIO MAGUIÑA RODRÍGUEZ de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de Titulación Profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, del Bachiller:

ERIC LENIN CUELLAR AGUIRRE

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invita al Bachiller ERIC LENIN CUELLAR AGUIRRE a realizar la Exposición del Trabajo de Tesis titulada: "MEJORA DEL RENDIMIENTO HIDRÁULICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL PROYECTO DE DERIVACIÓN HUASCACocha - RIMAC".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente del mismo, invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por el Bachiller, la misma que es:

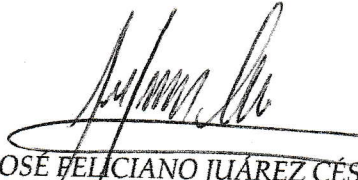
DIECISEIS 16

El Presidente del Jurado Dr. Ing. CÉSAR ALEJANDRO QUISPE GONZÁLES, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller ERIC LENIN CUELLAR AGUIRRE, Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 20:00 horas del mismo día, se levanta la sesión.


Dr. Ing. CÉSAR ALEJANDRO QUISPE GONZÁLES
PRESIDENTE


Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO
ASESOR


Ing. JOSÉ FELICIANO JUÁREZ CÉSPEDES
MIEMBRO


Mg. Ing. ENOCH AURELIO MAGUIÑA RODRÍGUEZ
MIEMBRO

Agradecimientos.

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo continuo; gracias madre por tus consejos, por escucharme y entenderme, gracias padre por tu legado, gracias hermanos por estar conmigo en todo momento aprendiendo algo nuevo cada día con el fin de desarrollarme profesionalmente; y sobre todo a mis dos hijos Marian & Maiky a quienes dedico el presente trabajo.

Asimismo, a mis jefes inmediatos quienes me apoyaron y con los cuales compartí experiencias innumerables; gracias Ing. Juan Hernández por su ayuda en la realización del presente trabajo, gracias Carlos Hurtado por la autorización para la recolección de información de campo y por el apoyo en todo sentido en la elaboración de la tesis, también al Ing. Miguel Angel Ormeño, por el desarrollo del trabajo; y por último un agradecimiento especial a la UNMSM escuela académica de Mecánica de fluidos por los conocimientos brindados.

ÍNDICE

Capítulo I	1
Introducción.....	1
1.1 Antecedentes generales	1
1.2 Definición del Problema	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivos General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
Capitulo II.....	5
Fundamentos Teóricos.....	5
2.1 Maquinas Hidráulicas	5
2.1.1 Clasificación de las maquinas Hidráulicas.....	5
2.2 Clasificación de las bombas hidráulicas	7
2.2.1 Bombas Volumétricas	7
2.2.2 Bombas Centrifugas (nos centraremos en éstas).....	8
2.3 Sistema de impulsión: carga de succión, elevación de succión y condiciones.	9
2.4 Curvas características	12
2.5 Concepto de pérdidas de carga	13
2.6 Fórmulas de Hazen Williams.....	21
2.7 Sumergencia.....	22
2.8 Ecuación de la energía aplicada a la mecánica de fluidos.	22
2.9 Cálculo de caudal de descarga en compuertas.....	24
Capítulo III	25
3.1 Línea Base del Proyecto.	25
3.1.1 Diseño.	25
3.1.1.1 Características de las unidades de bombeo. (presentaremos las condiciones de diseño inicial del proyecto).	25
3.1.1.2. Punto de operación de diseño.....	28
3.1.2. Condiciones de Operación encontrados como escenario negativo.	30
3.1.2.1. Definición de problema, contexto y operación hasta el 2015.	30
3.1.2.2. Sobre los parámetros.	32

3.1.3 Operación actual conseguida debido a la implementación de mejoras.	35
3.1.2.1. Sobre las mejoras implementadas.	35
3.1.2.2. Sobre los nuevos parámetros.	35
Datos y Metodología	36
3.2 Análisis de las condiciones de succión.	36
3.3 Análisis de las condiciones de impulsión.	48
3.3.1 Analizaremos el sistema de impulsión.	50
3.3.2 Flujómetros Electromagnéticos.	51
3.3.3 Registro de lectura de Flujómetros.	53
3.3.4 Registros de Operación	57
3.4 Revisión de tuberías y accesorios en la estación de bombeo.	64
3.5 Análisis del punto de operación de las unidades de bombeo y del sistema.	67
3.5.1 Sobre el modo de operación (2013-2015).	68
3.5.2 Registro de Operación 2015.	71
3.5.3. Rendimiento 2015.	73
3.6 Análisis de la calidad del agua del sistema de trasvase	73
Capítulo IV	80
Cálculos y Resultados.....	80
4.1 Sobre los cálculos para las condiciones negativas del 2015.	82
4.1.1. Para el análisis de las condiciones de succión.....	82
4.1.2. Para el análisis de las condiciones de impulsión.....	87
4.1.3. Para tuberías y accesorios.	87
4.2. Resultados y grafica de operación 2015.	88
4.3. Nuevas condiciones 2016.	93
4.4.1 Escenario positivo para obtener mejores condiciones para la estación.....	93
4.4.2 Nuevos Modos de Operación.	110
4.4.3 Referencia de normas ISO & ASME.	117
4.4. Rendimiento 2016.....	120
4.5 Resultados 2016.....	121
4.5.1. Resultados de las implementaciones	128
Capítulo V	133

Aspectos Económicos.....	133
5.1 Consumo de energía 2015.....	134
5.2 Consumo de energía 2016.....	136
5.3 Beneficios económicos obtenidos.....	138
5.4 Penalidades por incumplimiento de volumen entregado a SEDAPAL.	140
Capítulo VI	146
6.1 Conclusiones	146
6.2 Recomendaciones	148
6.3 Referencias Bibliográficas	149
Anexos.....	152
Tablas Rendimiento Temporada 2015.	152
Tablas Rendimiento Temporada 2016.	161
Tabla de Control de descarga.....	174

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1: Tipos de bombas volumétricas (Soriano).....	7
Ilustración 2: Bomba de carcasa partida utilizada en el sistema de trasvase (Epasa)	8
Ilustración 3: Sistema de impulsión	11
Ilustración 4: Curva característica de un sistema.	12
Ilustración 5: Línea de energía. (Rocha)	13
Ilustración 6: Línea de energía que produce una pérdida local (Rocha)	15
Ilustración 7: Pérdida para el caso de una tubería que sale de un estanque.	16
Ilustración 8: Pérdida de carga por ensanchamiento.	18
Ilustración 9: Pérdida de carga por ensanchamiento gradual. (Rocha)	19
Ilustración 10: Detalle de variación, para el cálculo de la altura real de la bomba.	23
Ilustración 11: En la imagen se aprecia los detalles para el cálculo mencionado	24
Ilustración 12: En las imágenes se aprecia la obstrucción generada por sólidos y algas en las canastillas de la succión por cada unidad de bombeo. (Epasa)	36
Ilustración 13: Unidad de bombeo N° 1 en condiciones reales de operación. (0.04bar, suc.) (Epasa)	37
Ilustración 14: Unidad de bombeo N° 2 en condiciones reales de operación. (0.03bar, suc.) (Epasa)	37
Ilustración 15: Unidad de bombeo N° 4. En condiciones reales de operación. Donde se aprecia el trabajo de la unidad de bombeo. (0.16 bar, presión de succión). (Epasa).....	37
Ilustración 16: En la imagen se aprecia que el agua que llega a través de los 35km de conducción desde la represa hasta la poza de succión sin control de sedimentos anteriores. (Epasa)	44
Ilustración 17: Se muestran la poza y canastillas de succión de las cuatro unidades de bombeo, completamente limpias después de una parada mensual. (Epasa).....	47
Ilustración 18: Unidades de bombeo 1, 2, 3, 4 con similar presión en la impulsión. (≥ 10 bar) (Epasa)	48
Ilustración 19: Unidades 1, 2, 3, 4 con similar presión en la impulsión. Se logra identificar las presiones de descarga a una apertura del 100% de la válvula mostrada. (≥ 10 bar) (Epasa)	48
Ilustración 20: Unidades de bombeo 1, 2, 3, 4 en operación. (Epasa)	50
Ilustración 21: En la siguiente imagen podemos apreciar el medidor de flujo electromagnético instalado en la tubería de impulsión. (Zona 400 en la estación de bombeo). (Epasa).....	51
Ilustración 22: En la siguiente imagen podemos apreciar el medidor de flujo electromagnético instalado en la tubería de impulsión. (Zona 500 Punto de entrega Marca III). (Epasa).....	51
Ilustración 23: En la imagen se aprecia el punto de entrega del trasvase a SEDAPAL. Marca III. (Epasa).....	52

Ilustración 24: En la imagen se aprecia la ubicación de los medidores de flujo.	53
Ilustración 25: En la imagen se aprecia el detalle después del medidor de flujo zona 400..	53
Ilustración 26: Válvula mariposa de accionamiento eléctrico DN 900 mm (Epasa).....	65
Ilustración 27: Reducción (Ø36”) x (Ø24”); Reducción (Ø32”) x (Ø18”) (Epasa)	65
Ilustración 28: Válvula de retención Ø800 mm; Válvula de DN 100 mm (Ø4”). (Epasa) ..	65
Ilustración 29: Medidor de caudal electromagnético DN 1200 mm Bridas ISO PN16; Válvula mariposa con actuador eléctrico DN 1200 mm ISO PN16. (Epasa).....	65
Ilustración 30: Válvula mariposa de accionamiento manual DN 600 mm; Válvula anticipadora de onda 600 mm ISO PN16 (Epasa)	66
Ilustración 31: Se muestra la bifurcación para la recirculación y el sistema de impulsión. (Epasa)	66
Ilustración 32: Medidor de caudal electromagnético DN 1200 mm Bridas ISO PN16 en el punto de llegada y vista de tubería de impulsión. (Epasa)	66
Ilustración 33: Sistema de bombeo en paralelo. (Epasa).....	67
Ilustración 34: En la siguiente imagen se aprecia que la Unidad N° 2 trabaja en presión negativa de hasta -0.08 Bar (fecha de registro 28/09/2016). (Epasa).....	69
Ilustración 35: Detalle de la succión y descarga para cada unidad de bombeo.....	72
Ilustración 36: En la siguiente imagen se aprecia el esquema de impulsión. (Cuellar)	81
Ilustración 37: Detalle de la poza y el sistema de succión de las unidades de bombeo.	86
Ilustración 38: No hay cierre hermético por falta de regulación de carrera de apertura y cierre en el mecanismo. (Epasa)	87
Ilustración 39: Imagen del sello hermético.....	88
Ilustración 40: En la imagen se aprecia que el aliviadero trabaja cuando el nivel de la poza está a un 109.27% equivalente a 4.21m de altura de la poza o 4446.42msnm. (Epasa)	94
Ilustración 41: En la imagen se aprecia pérdida de presión en el empaque y la unión portante del medidor de caudal electromagnético. (Epasa)	96
Ilustración 42: En la imagen se aprecia al empaque dañado. (Epasa)	96
Ilustración 43: La brida fue colocada en la última línea en dirección a la poza.....	97
Ilustración 44: Diseño de brida ciega.	98
Ilustración 45: En la imagen se puede apreciar la simulación de la brida hasta 15. (Cuellar)	98
Ilustración 46: En la imagen se muestra el desmontaje de la válvula de recirculación. (Epasa)	99
Ilustración 47: En la imagen se muestra los trabajos de fabricación de la brida ciega, acondicionada para anular la válvula de recirculación, y evitar las pérdidas de presión. (Epasa)	99
Ilustración 48: En la imagen se muestra los trabajos del montaje de la brida ciega, para anular la recirculación del sistema. (Epasa)	99
Ilustración 49: canastillas de succión obstruidos. (Epasa)	100
Ilustración 50: En la imagen se muestra al personal retirando material sólido y removiendo las algas adheridas a los canastillas de succión. (Epasa)	100

Ilustración 51: En la imagen también se puede apreciar las plataformas que se implementaron para poder realizar dichas actividades (Epasa)	101
Ilustración 52: La plataforma implementada como se observa en la imagen. (Epasa)	101
Ilustración 53: En la imagen se muestra el tipo de filtro de la succión. (Epasa).....	102
Ilustración 54: En las imágenes se muestran el desmontaje de las canastillas de succión. (Epasa)	103
Ilustración 55: En la imagen se muestra las canastillas listas para su modificación. (Epasa)	103
Ilustración 56: En la imagen se muestra los agujeros de 5/8” en la parte lateral.	104
Ilustración 57: En la imagen se muestra los agujeros de 5/8” en la parte frontal.....	104
Ilustración 58: En la imagen se muestra el detalle del área ganada para el sistema.....	104
Ilustración 59: Plano de referencia de poza de succión. (Cuellar)	107
Ilustración 60: Alarma de nivel máximo y mínimo para poza de succión.	109
Ilustración 61: Nivel máximo.	109
Ilustración 62: Nivel mínimo.....	110
Ilustración 63: En la imagen se aprecia las 4 unidades de bombeo, lo que se busca es un rendimiento óptimo del sistema.....	111
Ilustración 64: En la imagen se aprecia las curvas de descargar vs cota en msnm. (Epasa).	116
Ilustración 65: Detalle de las cotas de la compuerta de operación.	116

Índice de tablas.

Tabla 1: Coeficiente de rugosidad “C”.....	21
Tabla 2: Datos de pruebas del fabricante.....	26
Tabla 3: Tabla de datos del fabricante. (Epasa).....	28
Tabla 4: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Junio 2015. (Epasa)	39
Tabla 5: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Julio 2015. (Epasa)	40
Tabla 6: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Agosto2015. (Epasa)	41
Tabla 7: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Setiembre 2015. (Epasa)	42
Tabla 8: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Octubre2015. (Epasa)	43
Tabla 9: Se muestra el registro de succiones negativas de hasta -0.386. (Epasa)	44
Tabla 10: Datos de Operación, estación de bombeo Huascacocha, junio 2014. (Epasa).....	45
Tabla 11: : Datos de Operación, estación de bombeo Huascacocha, Junio 2015. (Epasa) .	46
Tabla 12: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha presión de las succiones de descarga para cada una de las unidades de bombeo. (Epasa)	49
Tabla 13: Características de los flujómetros electromagnéticos (Epasa)	52
Tabla 14: Registro de flujómetros electromagnéticos (Epasa).....	54
Tabla 15: Registro de flujómetros electromagnéticos (Epasa).....	55
Tabla 16: Registro de flujómetros electromagnéticos (Epasa).....	56
Tabla 17: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Julio 2015. (Epasa).....	58
Tabla 18: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Setiembre 2015. (Epasa)	59
Tabla 19: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Noviembre 2015. (Epasa).....	60
Tabla 20: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Junio 2016. (Epasa).....	61
Tabla 21: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Agosto 2016. (Epasa).....	62
Tabla 22: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Noviembre 2016. (Epasa).....	63
Tabla 23: Relación de porcentaje (%) con respecto a su altura en metros-poza de succión.	68
Tabla 24: Promedio de registro de operación 2015. (Epasa).....	71
Tabla 25: Calidad Del agua: poblacional 1. (Epasa)	73
Tabla 26: Calidad del agua lagunas y lagos 2. (Epasa)	74
Tabla 27: Estándares de calidad ambiental MINAM- Lagunas y lagos. Físicos y químicos.	75
Tabla 28: Estándares de calidad ambiental MINAM- Lagunas y lagos. Inorgánicos.	76
Tabla 29: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Físicos y químicos	77
Tabla 30: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Inorgánicos.	78
Tabla 31: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Microbiológico.	79

Tabla 32: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Orgánicos.....	79
Tabla 33: Tabla de presión por altitud.....	83
Tabla 34: Tabla de presión de vapor.	84
Tabla 35: Tabla de relación altitud y porcentaje de la poza de succión.	85
Tabla 36: Resultados cálculos operación 2015.....	89
Tabla 37: Resultados cálculos operación 2015.....	90
Tabla 38: Registro de operación 2015 “Potencia”. (Epasa)	91
Tabla 39: Nuevo Nivel de poza de succión.	95
Tabla 40: Detalles de los agujeros en la succión.	105
Tabla 41: Detalles de los agujeros en la succión.	105
Tabla 42: Formato de seguimiento para monitoreo de indicadores de buenas condiciones de operación.	114
Tabla 43: Resultados cálculos operación 2016.....	121
Tabla 44: Resultados cálculos operación 2016.....	122
Tabla 45: Resultados cálculos operación 2016.....	123
Tabla 46: Registro de Operación 2016 “Potencia”. (Epasa)	124
Tabla 47: Lectura de medidor de caudal, junio. (Epasa)	128
Tabla 48: Lectura de medidor de caudal, Agosto. (Epasa).....	129
Tabla 49: Lectura de medidor de caudal, Noviembre. (Epasa).	130
Tabla 50: Promedio de registro de operación 2016. (Epasa).....	131
Tabla 51: potencia convenidas según contrato. (Epasa).....	133
Tabla 52: Costo mensual de energía. (Epasa).....	134
Tabla 53: Costo mensual de energía. (Epasa).....	136
Tabla 54: Beneficio económico. (Epasa).....	138
Tabla 55: Relación Caudal vs Hm. Unidades de bombeo.	139
Tabla 56: Calculo de retribución, cumpliendo el anexo de entrega. (ProInversión, 2009)	143
Tabla 57: Cálculo de retribución, incumpliendo el anexo de entrega (penalidad). (ProInversión, 2009).....	144
Tabla 58: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2015.....	153
Tabla 59: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2015.....	154
Tabla 60: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2015.....	155
Tabla 61: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2015.....	156
Tabla 62: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2015.....	157
Tabla 63: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2015.....	158
Tabla 64: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2015.....	159
Tabla 65: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2015.....	160
Tabla 66: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2016.....	164
Tabla 67: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2016.....	165
Tabla 68: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2016.....	166
Tabla 69: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2016.....	167
Tabla 70: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2016.....	168

Tabla 71: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2016.....	169
Tabla 72: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2016.....	170
Tabla 73: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2016.....	171
Tabla 74: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2016.....	172
Tabla 75: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2016.....	173
Tabla 76: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	175
Tabla 77: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	176
Tabla 78: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	177
Tabla 79: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	178
Tabla 80: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	179
Tabla 81: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	180
Tabla 82: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	181
Tabla 83: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	182
Tabla 84: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.....	183

Índice de gráficas.

Gráfica 1: Curva característica de una unidad de bombeo.	27
Gráfica 2: Referencia del fabricante sobre la selección de la unidad de bombeo.	27
Gráfica 3: Curva de operación de diseño del proyecto.....	29
Gráfica 4: Se muestra la curva de operación del periodo 2015.	92
Gráfica 5:Se muestra las curva de operación del periodo 2016.	125
Gráfica 6: Se muestra las curvas de operación del periodo 2015 vs 2016.	126
Gráfica 7: Se muestra la variación de las alturas reales para los periodos 2015-2016.....	127
Gráfica 8: Consumo de energía 2015.	135
Gráfica 9: Consumo de energía 2016.	137

Otros.

Definiciones 1	151
----------------------	-----

Capítulo I

Introducción

1.1 Antecedentes generales

Ante el incremento de la demanda de agua potable en la ciudad de Lima el estado optó por realizar esta obra de gran envergadura, que beneficia a más de 2.5 millones de pobladores limeños garantizando así el recurso hídrico, a través del proyecto de concesión Trasvase Huascacocha-Rímac, con el objetivo de ampliar la oferta de agua destinada al consumo humano, mediante el represamiento de la laguna Huascacocha, su posterior conducción hacia el sistema marca III y su trasvase a la cuenca del río Santa Eulalia.

El estado de la república del Perú, representado por el ministerio de vivienda ha otorgado el poder al Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – Sedapal, como el representante de la concesión.

Concesionada a la Empresa EPASA (Empresa Peruana de Aguas). Con un volumen anual de entrega a SEDAPAL de 51.78 MMC (Incluido caudal ecológico 3.15 MMC). El sistema de Derivación Huascacocha – Rímac cuenta con una represa con capacidad de almacenamiento de 78.5 MMC y un volumen muerto de 36.41 MMC, equipada con instrumentación para hidrometría, climatología, un sistema de canales de 23 km (canal trapezoidal, rectangular), dimensionada para conducir un caudal de 2.63m³/s. Sifones de políéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV-GRP). De 1400, 1500 y 1600 mm de diámetro, de diferentes clases en relación a los diferentes tipos de presión a que las tuberías están expuestas durante la operación como PN 6, 10, 16 PN 20 y PN 25. Túneles dimensionados para transportar el mismo caudal que los canales, una estación de bombeo que cuenta con cuatro unidades de bombeo de 0.9 m³/s cada una según el diseño del proyecto y su línea de impulsión para trasvasar el agua desde la estación de bombeo hasta el sistema Marca III de SEDAPAL. El bombeo del agua está dado a un desnivel o altura estática de 100.10 m (estación de bombeo - Marca III de Sedapal). Con un recorrido total de 35 km desde la presa hasta el punto de entrega. (Epasa)

Cabe mencionar que para poner en marcha todo el sistema instalado desde el represamiento hasta la impulsión del agua, existe un consumo de energía eléctrica la cual es suministrada desde la central hidroeléctrica de Malpaso por la Empresa Statkraft en la ciudad de la Oroya. Conformada por una celda de salida y el tendido de transmisión de 50 kV de simple terna con un recorrido total de 49.91 km. y una subestación reductora en Huascacocha.

A continuación, damos cuenta de que el sistema descrito y diseñado para impulsar 2.63 m³/s, actualmente no cumple con suministrar dicho caudal al cual fue diseñado, operando el sistema con un déficit de caudal, lo cual estará sujeto a las evaluaciones y sus posteriores soluciones para conseguir una mejora en el rendimiento del proyecto de derivación Huascacocha – Rimac

1.2 Definición del Problema

El proyecto de derivación Huascacocha-Rímac fue diseñado para transportar un caudal de $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$ desde la represa hasta la estación de bombeo, por ende, el diseño para la estación de bombeo también fue para impulsar los $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta el punto de entrega Marca III de SEDAPAL (altura estática de 100.10 m).

La estación de bombeo cuenta con cuatro unidades de bombeo cada uno de $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ de procedencia holandesa como es la firma Norit Nijhuis. (Epasa)

Según el diseño con tres unidades de bombeo bastaría para entregar nuestro caudal transportado.

Caudal Transportado: $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

Al operar con tres unidades de bombeo y según el diseño del proyecto se tendría:

$$3 \text{ unidades} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lo que es suficiente para trasvasar el caudal transportado que es $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

El problema que se manifiesta en la operación del trasvase, es que con las tres unidades en operación no es posible llegar al caudal de trasvase como es $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ya que el caudal promedio máximo actual que se puede llegar con las tres unidades de bombeo mencionadas es de solo $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$.

Considerando nuestra meta diaria de bombeo: 227150 m^3 (a)

Trasvase con tres unidades de bombeo en 24 horas se tiene:(b)

$$2.55 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 60 \times 60 \times 24 = 220320 \text{ m}^3 \text{..... (En un día de operación).}$$

De (a) y (b) se tiene que:

$$227150 \text{ m}^3 - 220320 \text{ m}^3 = 6830 \text{ m}^3 \text{..... Déficit por día}$$

Considerando un cierre de operación mensual de 30 días se tendría un déficit mensual de:

$$6830 \text{ m}^3 \times 30 \text{ dias} = 204900 \text{ m}^3 \text{..... Déficit mensual}$$

Ante esto surge la necesidad de poner en marcha nuestra cuarta unidad de bombeo, generándonos gastos en nuestro consumo de energía y en el mantenimiento de esta ya que constantemente está en operación.

Ésta cuarta unidad de bombeo fue implementada en el diseño para el mantenimiento de las otras unidades de bombeo y/o cuando estén paradas por diferentes circunstancias y así poder tener siempre la disponibilidad de tres unidades de bombeo.

También se hace presente que de acuerdo al diseño de la planta de trasvase del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac, el caudal de trasvase según consta en el contrato de concesión obedece a trasvasar 2.63 m³/s, las 24 horas del día, durante los 30 o 31 días de operación según corresponda al mes. Luego realizando el cálculo en función a los 2.63m³/s, se tiene lo siguiente, y que es muy importante para tomar en cuenta, en la forma de operar la planta del Proyecto Huascacocha –Rímac.

$$2.63 \frac{m^3}{s} \times 60 \times 60 \times 24 \text{ horas} = 227232 m^3 \dots\dots (1)$$

Interpretación de la ecuación N° 1:

Según el caudal de diseño, en un día de operación y con las tres unidades de bombeo de con rendimiento de 0.9m³/s, se tendría la suficiente capacidad para lograr dicha meta diaria, establecida en 227150 m³. (Criterios establecidos en el proyecto de diseño y construcción).

Entonces, de cumplir con lo establecido según el diseño, el margen de error para la estación de bombeo Huascacocha es un mínimo volumen de:

$$227232m^3 - 227150 m^3 = 82 m^3 \dots\dots (2)$$

Interpretación de la ecuación N° 2:

Los 82 m³ que resulta de la diferencia de los volúmenes acumulados en función al caudal de diseño de 2.63m³/s y el volumen establecido como meta mensual de 227150 m³, demuestran que el margen de error por día que tiene la estación de Huascacocha es un volumen insignificante, ya que, con solo perder 5 min, de operación, planta perdería un volumen de 765 m³ y hasta 9180m³ en una hora de perdida de operación. Esto agravaría el cierre mensual de operación ya que es muy difícil poder recuperar un volumen considerando el margen de error de 82m³ diarios.

Ocurrencias que puedan ocasionar una pérdida de operación en horas:

- ✓ Descargas atmosféricas en la línea de transmisión, reponer la línea toma como mínimo 3 horas, que afectan la operación.
- ✓ Derrumbes de talud, en el sistema de conducción (canal trapezoidal), hasta 2 horas para solucionar el problema.
- ✓ Caída de objetos de considerable tamaño, en el ingreso a los sifones, estos reducen el caudal trasvasado, tomaría hasta 2 horas solucionar dicho inconveniente.

Ahora en la descripción del problema indicamos que el promedio máximo de registros de operación de la estación de bombeo Huascacocha, es de solo 2.55m³/s. entonces:

$$2.55 \frac{m^3}{s} \times 60 \times 60 \times 24 \text{ horas} = 220320 m^3$$

Es necesario recalcar que, para garantizar nuestra operación mensual, es decir cumplir los:

$$227150 m^3 \times 30 \text{ dias} = 6,814500 m^3$$

Tenemos que generar una reserva o colchón de volumen trasvasado ya que si ocurriese algún incidente o imprevisto sería muy difícil poder recuperar las horas o días de bombeo por la ocurrencia.

Consideremos que desde la presa hasta la estación de bombeo tenemos una distancia de 35 km lo que nos tomaría el solo traslado, verificación, o corregir ciertas ocurrencias, tomara aproximadamente un mínimo de 4 horas, y una vez solucionado tal ocurrencia cabe señalar que el tiempo de llegada del agua hasta la estación de bombeo es de 2 a 5 horas, ya que la velocidad del agua es de 1.2 m/s, esto dependiendo del lugar de la ocurrencia.

Teniendo en cuenta además que el contrato con la empresa distribuidora de energía eléctrica, establece el cobro de energía en hora punta (EHP), de 06:00 pm hasta las 11:00 pm. Por ende, en el lapso del tiempo mencionado, se utiliza tres unidades de bombeo ya que introducir la cuarta unidad de bombeo en este periodo elevaría nuestra potencia y el consumo de energía mensual. (Epasa)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos General

El presente trabajo de Titulación tiene como objetivo principal, mejorar el rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha-Rímac.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar las condiciones de operación de toda la planta.
2. Evaluar el punto de operación de trabajo del sistema.
3. Evaluar causas que originan el déficit de caudal en la estación de bombeo, y soluciones de mejora de acuerdo a normas técnicas del Hydraulic Institute (HI).
4. Evaluar el rendimiento de cada unidad de bombeo y del sistema.
5. Evaluar el rendimiento de cada unidad de bombeo y del sistema en el escenario de mejora y el ahorro energético.

Capítulo II

Fundamentos Teóricos

La elaboración de la tesis de Mejorar el Rendimiento Hidráulico de la Estación de Bombeo del Proyecto de Derivación Huascacocha – Rímac. Se fundamenta en los conceptos básicos de la mecánica de fluidos como son la hidráulica y turbomáquinas.

2.1 Maquinas Hidráulicas

Una maquina hidráulica transforma la energía de una clase a otra, por ejemplo, al absorber energía eléctrica y restituirla en energía mecánica. Se caracterizan también por no cambiar la densidad del fluido. (Jara, 1998)

2.1.1 Clasificación de las maquinas Hidráulicas

➤ ***Las maquinas que absorben energía del exterior.***

Esta energía puede ser visualizada como energía mecánica (potencia en el eje) esta energía absorbida por la maquina es transformada en energía del fluido (energía hidráulica). Pertenecen a este grupo las bombas y ventiladores. Desde el punto de vista de la energía hidráulica, las bombas (ventiladores se les denomina maquinas generadoras). (Jara, 1998)

➤ ***Las maquinas que entregan energía al exterior.***

A este grupo pertenecen las turbinas, las cuales transforman la energía del fluido (hidráulico) en energía mecánica (en el eje). Desde este punto de vista de la energía hidráulica a este grupo se les denomina maquinas motoras. (Jara, 1998)

Variables que determinan el funcionamiento de las maquinas hidráulicas

➤ ***Caudal.***

Cantidad de agua que circula por unidad de tiempo. Las unidades más comunes corresponden a: m^3/s , lt/s , GPM, pie^3/min . (Jara, 1998)

➤ ***Altura.***

Para la altura neta es la variable correspondiente a la energía contenida por Kg. De agua en la máquina. (Jara, 1998)

➤ ***Velocidad.***

Velocidad con la que gira el órgano de trabajo, generalmente se expresa en RPM; sin embargo, algunas veces se usa el concepto de velocidad angular. (Jara, 1998)

➤ **Potencia**

Energía entregada (o absorbida) por unidad de tiempo en el eje de la máquina.

➤ **Número específico**

Dependen de todos los otros factores y nos determina las características de la máquina. (Jara, 1998)

➤ **Rendimiento**

Las características más generales de las maquinas es que cada vez que hacemos una transformación de energía tenemos perdidas, es decir, existe un rendimiento menor del 100%. Las perdidas generalmente se manifiestan en forma de calor. De esta forma se tiene: (Jara, 1998)

$$n = \frac{\text{Potencia entregada}}{\text{Potencia absorbida}} < 100\%$$

$$n = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia hidráulica}} \Rightarrow \text{Turbinas}$$

$$n = \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia mecánica}} \Rightarrow \text{Bombas}$$

Desde el punto de vista físico, el trabajo de una bomba consiste en la transformación de la energía mecánica del mando (motor) en energía del líquido (hidráulica), es decir la bomba comunica cierta potencia al líquido que fluye a través de esta. La energía que adquiere el líquido en la bomba, permite superar las resistencias y elevarse a la altura geométrica deseada. La energía adquiere en la bomba cada unidad de peso de líquido, es decir el incremento de su energía específica, tiene dimensión lineal y representa la altura creada por la bomba. (Jara, 1998)

El gasto (caudal) de líquido que impulsa la bomba a la tubería, lo denominaremos capacidad útil de la bomba y lo designaremos por “Q”

Se denomina potencia útil de la bomba o potencia que desarrolla la bomba, a la energía que comunica la bomba a todo el flujo de líquido por segundo.

Recordando la definición de potencia hidráulica, se tiene:

$$P_H = \frac{\gamma \times Q \times H}{76} \quad (HP)$$

γ : Peso específico (Kg/m^3)

Q : Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

H : Altura (m)

Al igual que las turbinas, la bomba consume mayor potencia que la que desarrolla, de esta forma, su rendimiento (global) queda expresado por:

$$n = \frac{\gamma \times Q \times H}{76P}$$

P: Potencia (Mecánica) absorbida en HP

De la ecuación de rendimiento se tiene:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H}{76 n} \quad (HP)$$

Para una velocidad dada (RPM), nos entrega un caudal y una altura (presión), podemos agrupar estas variables en un parámetro común, Número específico; el cual tiene igual significado como en las turbinas. Sin embargo, lo diferenciaremos en base al caudal, en vez de la potencia (P).

$$n_s = \frac{n \times \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (HP)$$

2.2 Clasificación de las bombas hidráulicas

Las bombas que se usan actualmente en las diversas ramas, difieren en su construcción y principios de funcionamiento. Sin embargo, podemos agruparlas en dos grandes grupos:

2.2.1 Bombas Volumétricas

Tienen un contorno móvil de volumen variable, que obliga al fluido a avanzar a través de la máquina. Hay una gran diversidad de modelos. (Soriano)

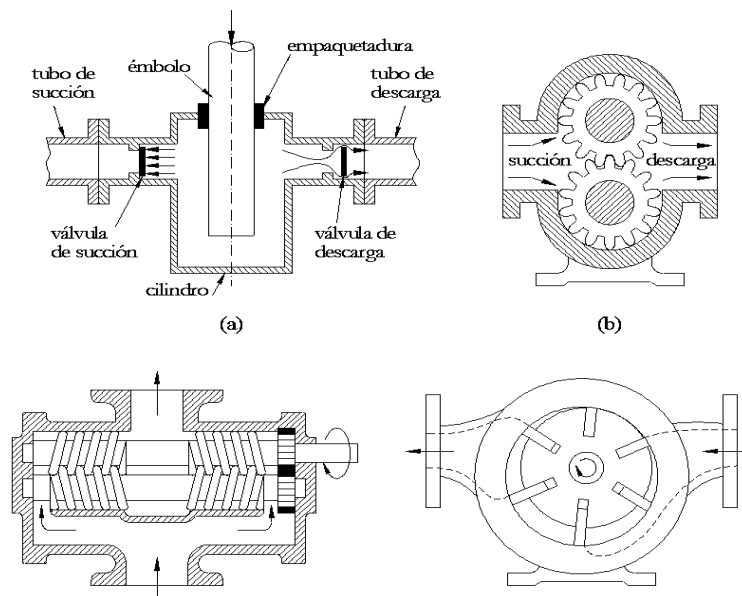


Ilustración 1: Tipos de bombas volumétricas (Soriano)

2.2.2 Bombas Centrifugas (nos centraremos en éstas)

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción.



Ilustración 2: Bomba de carcasa partida utilizada en el sistema de trasvase (Epasa)

El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida.

La bomba centrífuga, también denominada bomba roto dinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente rodete. Son máquinas basadas en la Ecuación de Euler.

2.2.2.1 Las Bombas Centrifugas se pueden clasificar de diferentes maneras: (Soriano)

- Por la dirección del flujo en: Radial, Axial y Mixto.
- Por la posición del eje de rotación o flecha en: Horizontales, Verticales e Inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: Voluta y las de Turbina.
- Por el diseño de la mecánico coraza en: Axialmente Bipartidas y las Radialmente Bipartidas.
- Por la forma de succión en: Sencilla y Doble.

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, (en pascales, Pa, metros de columna de agua m.c.a. o pie-lb/lb de líquido) es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Tradicionalmente la presión proporcionada por la bomba en metros de columna de agua o pie-lb/lb se expresa en metros o en pies y por ello que se denomina genéricamente como "altura", y aún más, porque las primeras bombas se dedicaban a subir agua de los pozos desde una cierta profundidad (o altura).

2.2.2.2 Partes de una bomba centrífuga: (Jara, 1998)

➤ *Carcasa.*

Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

➤ *Impulsores.*

Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

➤ *Anillos de desgaste.*

Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

➤ *Estopas.*

Empaques y sellos. La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

➤ *Cojinetes.*

Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

2.3 Sistema de impulsión: carga de succión, elevación de succión y condiciones.

➤ *Elevación de succión.*

Es la suma de la elevación estática de succión, de la carga de fricción de succión total y de las pérdidas de admisión (la elevación de succión es una carga de succión negativa).

➤ ***Carga de succión.***

Es la carga estática de succión menos la carga de fricción total y las pérdidas de admisión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión. Es una presión negativa (hay vacío) y se suma algebraicamente a la carga estática de succión del sistema.

➤ ***Condiciones de succión.***

Por lo que respecta al líquido, se tomará en cuenta la influencia de su presión sobre la succión.

➤ ***Presión de vapor.***

Si un líquido se encuentra a una temperatura arriba de su punto de ebullición, sufre evaporación en su superficie libre. En el seno del líquido se origina una presión que se llama presión de vapor y que está en función directa con la temperatura del líquido.

➤ ***Presión de bombeo.***

Destinemos una bomba cualquiera para bombear un líquido. Al funcionar la bomba, tiende a formar un vacío en el seno del líquido. Éste succionar se conoce como presión de bombeo.

➤ ***Carga neta de succión positiva (NPSH).***

Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido.

➤ ***NPSH disponible.***

Esta depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo. Si se varía cualquiera de estos puntos, la NPSH puede alterarse.

➤ ***NPSH requerida.***

Esta depende sólo del diseño de la bomba y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad.

$$NPSH = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + H_{suc.} - H_f.$$

P_{atm} : Presión atmosférica

P_v : Presión de vapor del líquido a temperatura de bombeo.

γ : Gravedad

$H_{suc.}$: Altura de succión

H_f : Pérdidas por fricción en la tubería de succión

➤ **Cebado de las Bombas.**

Consiste en la extracción del aire de la tubería de succión de la bomba para permitir un correcto funcionamiento. Esta operación se realiza en todas las bombas centrífugas ya que no son autocebantes, generalmente cuando ésta se encuentra en una posición superior al tanque de aspiración.

➤ **Carga Hidráulica.**

Es la energía impartida al líquido por la bomba, es decir, la diferencia entre la carga de descarga y la succión.

➤ **Potencia Absorbida (P).**

Representa la potencia requerida por la bomba para transferir líquidos de un punto a otro y la energía requerida para vencer sus pérdidas.

➤ **Potencia Hidráulica (PH).**

Potencia cedida al líquido en el proceso de su transferencia de un punto a otro.

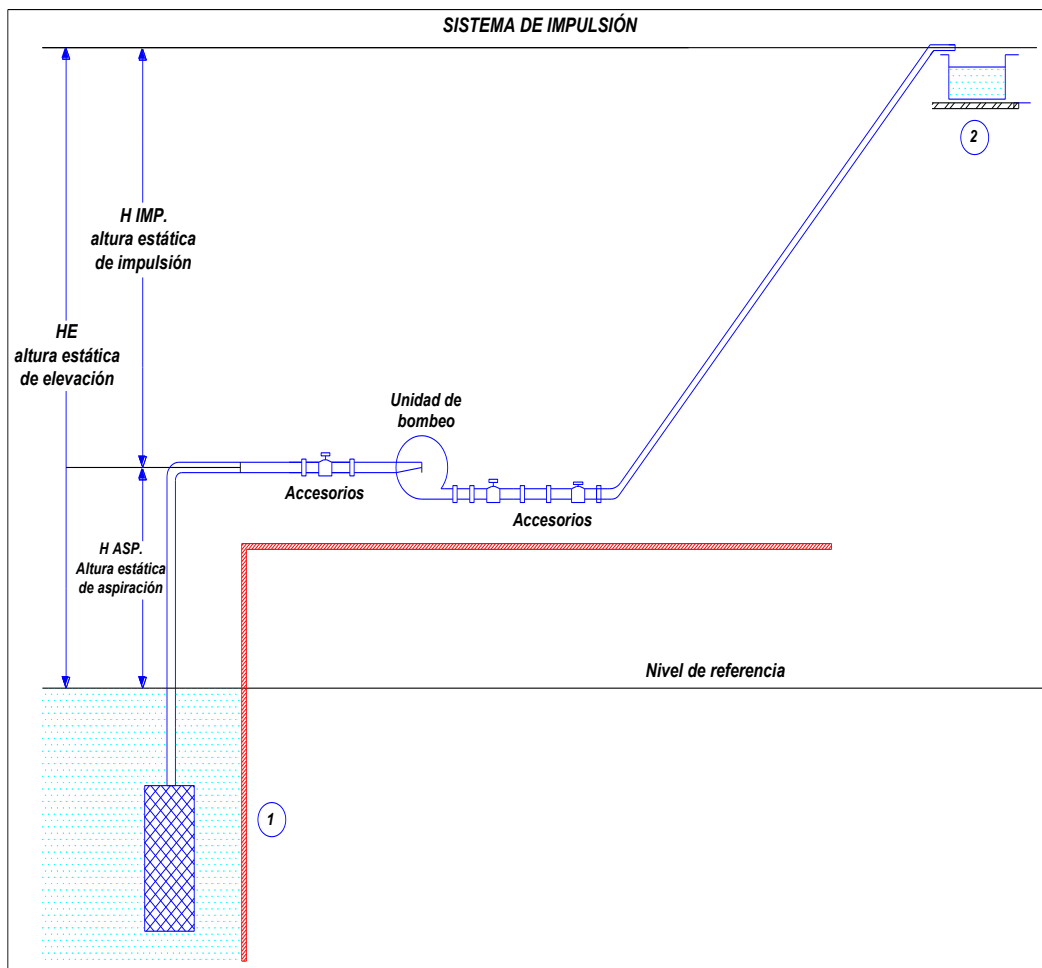


Ilustración 3: Sistema de impulsión

2.4 Curvas características

Antes de que un sistema de bombeo pueda ser diseñado o seleccionado debe definirse claramente su aplicación. Así sea una simple línea de recirculación o un gran oleoducto, los requerimientos de todas las aplicaciones son siempre los mismos, es decir, trasladar líquidos desde un punto a otro. Entonces, esto obliga a que la bomba y el sistema tengan iguales características para que este diseño sea óptimo.

La manera de conocer tales características se realiza con la ayuda de las curvas características de la bomba, las cuales han sido obtenidas mediante ensayos realizados en un banco de pruebas el cual posee la instrumentación necesaria para medir el caudal, velocidad de giro, momento de torsión aplicado y la diferencia de presión entre la succión y la descarga de la bomba, con el fin de poder predecir el comportamiento de la bomba y obtener el mejor punto de operación el cual se conoce como PME, variando desde una capacidad igual a cero hasta un máximo, dependiendo del diseño y succión de la bomba.

Generalmente este tipo de curvas se obtienen para velocidad constante, un diámetro del impulsor específico y un tamaño determinado de carcasa, realizando la representación gráfica de la carga hidráulica (curva de estrangulamiento), potencia absorbida y eficiencia adiabática contra la capacidad de la bomba.

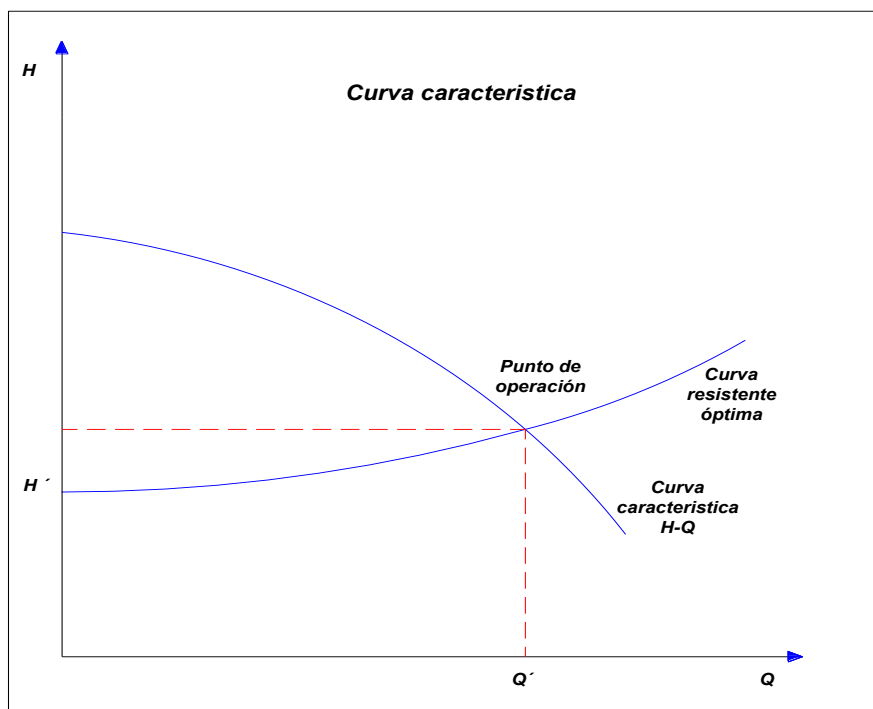


Ilustración 4: Curva característica de un sistema.

Estas curvas son suministradas por los proveedores de bombas, de tal manera que el usuario pueda trabajar según los requerimientos de la instalación sin salir de los intervalos de funcionamiento óptimo, además de predecir qué ocurrirá al variar el caudal manejado, sirviendo como una gran herramienta de análisis y de comprensión del funcionamiento del equipo.

2.5 Concepto de pérdidas de carga

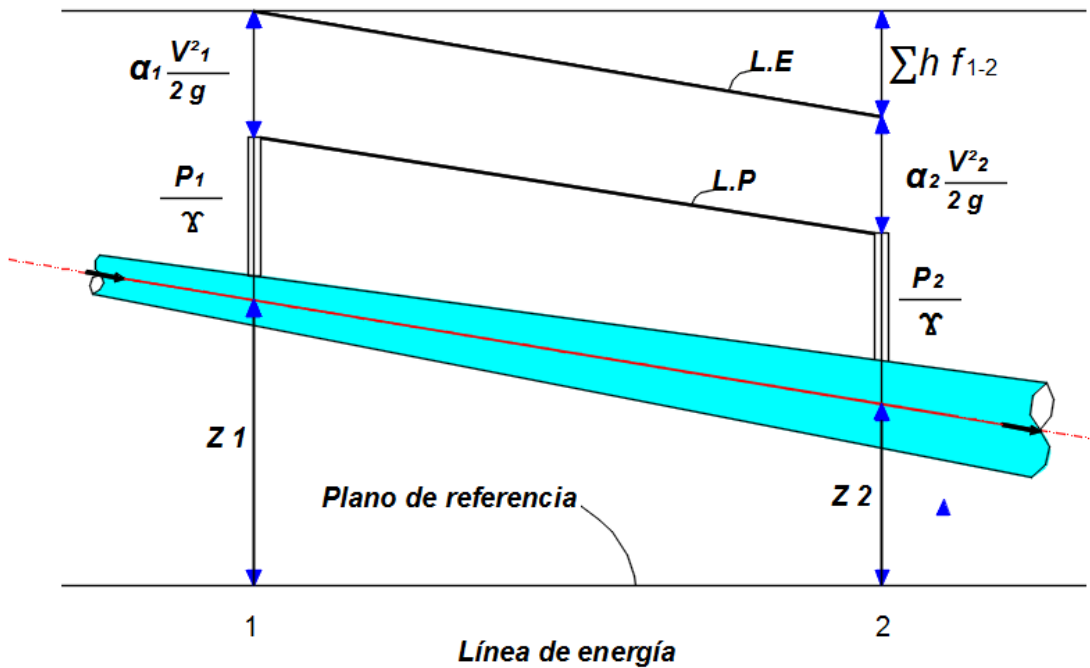


Ilustración 5: Línea de energía. (Rocha)

Ecuación de la energía en una tubería.

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \Sigma h_{f1-2}$$

Es decir, que al pasar de 1 a 2 hay una parte de la energía que se “pierde” que no se transforma en presión, velocidad o elevación. Es la energía consumida en forma de fricción y que denominamos H_f , pérdida de energía o pérdida de carga. (Rocha)

Para un movimiento uniforme, la sección transversal es invariable, por lo tanto, la velocidad también lo es y la energía de velocidad es constante. (Rocha)

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

Entonces la ecuación de la energía es simplemente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \Sigma h_{f1-2}$$

A la línea que resulta de unir las elevaciones a las que sube el líquido en una serie de piezómetros instalados a lo largo de la tubería se le denomina línea piezométrica o línea de gradiente hidráulica (L.P). (Rocha)

Si en cada sección se adiciona a la cota piezométrica el valor correspondiente a la energía de velocidad se obtiene la línea de energía. En el movimiento uniforme la línea de energía y la línea piezométrica son paralelas.

Con respecto a la línea de gradiente piezométrica:

La línea de gradiente indica por medio de su altura sobre el eje de la tubería la presión en cualquier punto de ella.

En una tubería, o tuberías de igual rugosidad y diámetro, cuanto mayor es la pendiente inclinación de la línea de gradiente tanto mayor será la velocidad del fluido.

La línea de gradiente hidráulica indica por su descenso vertical la energía perdida entre dos secciones (para movimiento uniforme.)

La gradiente hidráulica cuya longitud sea aproximadamente igual a la línea que une sus extremos.

La línea de energía siempre desciende en la dirección del escurrimiento, salvo que se coloque una bomba.

La línea de gradiente hidráulica no siempre desciende en la dirección del escurrimiento.

La línea de energía y la gradiente coinciden con la superficie libre para un líquido en reposo. Tal sería el caso de un estanque.

En la ecuación de la energía se ha designado como $\sum h_{f1-2}$ a la suma de todas las pérdidas de carga (de energía) que ocurren entre 1 y 2.

Estas pérdidas de carga son fundamentalmente de dos tipos: continuas y locales.

Existen numerosas expresiones de origen experimentales para representar perdidas de carga en tuberías, pero utilizaremos la de **Hazen – Williams**, expresada en función al caudal. (Rocha)

$$h_f = \frac{10.697}{C^{1.852}} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, vimos que en las conducciones se produce otro tipo de pérdidas debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de líquidos por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc. y que se conocen como pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares (h_L , h_s), que sumadas a las pérdidas de carga continuas dan las pérdidas de carga totales (h_T). (Rocha)

Las pérdidas de carga locales dependen de las características de cada singularidad, válvula, codo, etc.

$$h_f = k x \frac{V^2}{2g}$$

En una tubería las pérdidas de carga son continuas y locales. Las pérdidas de carga continuas son proporcionales a la longitud, se deben a la fricción y se calculan por medio de la fórmula de Darcy.

Las pérdidas de carga local o singular ocurren en determinados puntos de la tubería y se deben a la presencia de algo especial que se denomina genéricamente singularidad: un codo, una válvula, un estrechamiento, etc. (Rocha)

Se observa una tubería mostrando la línea de energía y la súbita caída que experimenta como consecuencia de una singularidad, que produce una pérdida de carga local a la que designamos como h_{loc} .

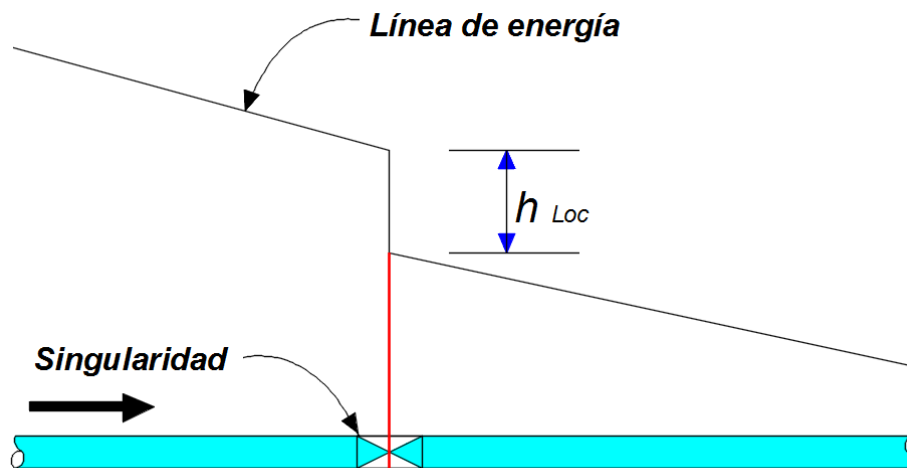


Ilustración 6: Línea de energía que produce una pérdida local (Rocha)

Las pérdidas de carga locales se expresan genéricamente en función de la altura de velocidad en la tubería.

$$h_{loc} = k x \frac{V^2}{2g}$$

Expresión en la que h_{loc} es la pérdida de carga local expresada en unidades de longitud, K es un coeficiente adimensional que depende de las características de la singularidad que genera la pérdida de carga (codo, válvula, etc.) así como del número de Reynolds y de la rugosidad, V es la velocidad media en la tubería.

A las pérdidas de carga locales también se les denomina pérdidas menores. Esto en razón que en tuberías muy largas la mayor parte de la pérdida de carga es continuo. Sin embargo, en tuberías muy cortas las pérdidas de carga locales pueden ser proporcionalmente muy importantes. (Rocha)

Analizaremos las principales pérdidas locales en flujo turbulento.

Entrada o embocadura corresponde genéricamente al caso de una tubería que sale de un estanque. (Rocha)

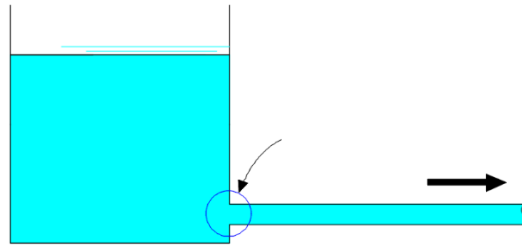


Ilustración 7: Pérdida para el caso de una tubería que sale de un estanque.

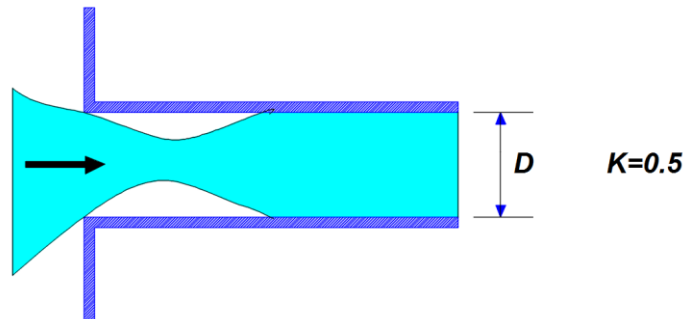
A la entrada se produce una pérdida de carga h_{loc} originada por la contracción de la vena líquida. Su valor se expresa por:

$$h_{loc} = k \times \frac{V^2}{2g}$$

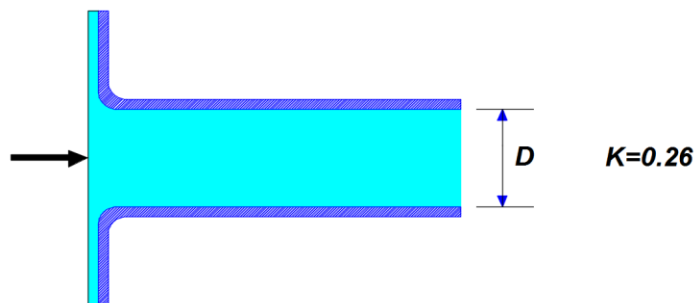
Expresión en la que V es la velocidad media en la tubería.

El valor de K está determinado fundamentalmente por las características geométricas de la embocadura. Las que se presentan más frecuentemente son:

a) Bordes agudos

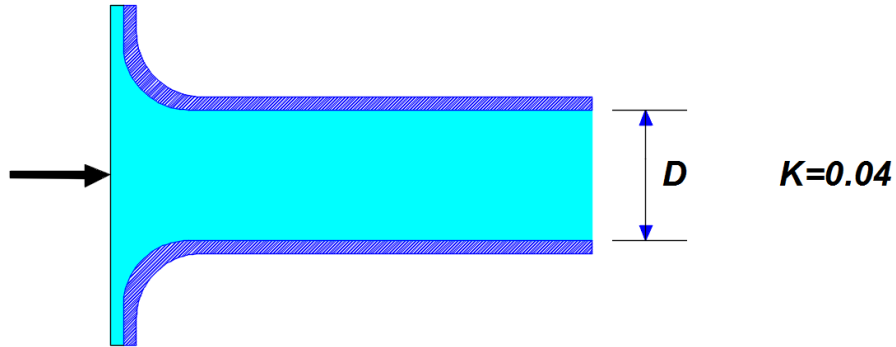


b) Bordes ligeramente redondeados (sea r el radio de curvatura).

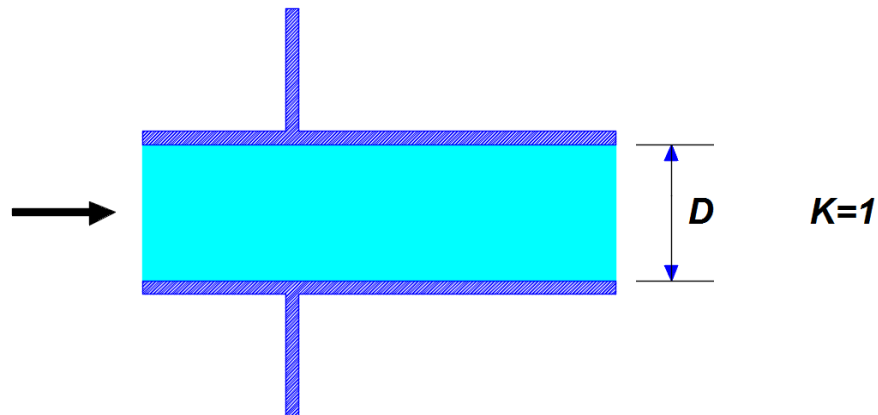


En este caso el valor de K depende de la relación r/D . El valor 0,26 corresponde a una relación de 0,04. Para valores mayores de r/D , K disminuye hasta llegar a 0,03 cuando r/D es 0,2. (Rocha)

c) Bordes acampanados (perfectamente redondeados). El borde acampanado significa que el contorno tiene una curvatura suave a la que se adaptan las líneas de corriente, sin producirse separación. (Rocha)



d) Bordes entrantes (tipo Borda)



Los valores aquí presentados K son valores medios, que pueden diferir según las condiciones de las experiencias realizadas. Se observa que los valores solo se hacen depender de las características geométricas y no del número de Reynolds o de la rugosidad. En una conducción normalmente se desea economizar energía. Conviene entonces dar a estas entradas la forma más hidrodinámica posible. A modo de ejemplo cabe indicar que para una velocidad media de 2,5 m/s en una tubería la pérdida de carga es de 0,159 m si la entrada es con bordes agudos y sólo 0,013 m, si la entrada es acampanada. (Rocha)

Ensanchamiento del conducto.

En ciertas conducciones es necesario cambiar la sección de la tubería y pasar a un diámetro mayor. Este ensanchamiento puede ser brusco o gradual. (Rocha)

a) Ensanchamiento brusco

La pérdida de carga en el ensanchamiento se calcula analíticamente a partir de la ecuación de la cantidad de movimiento, entre las secciones 1 y 2.

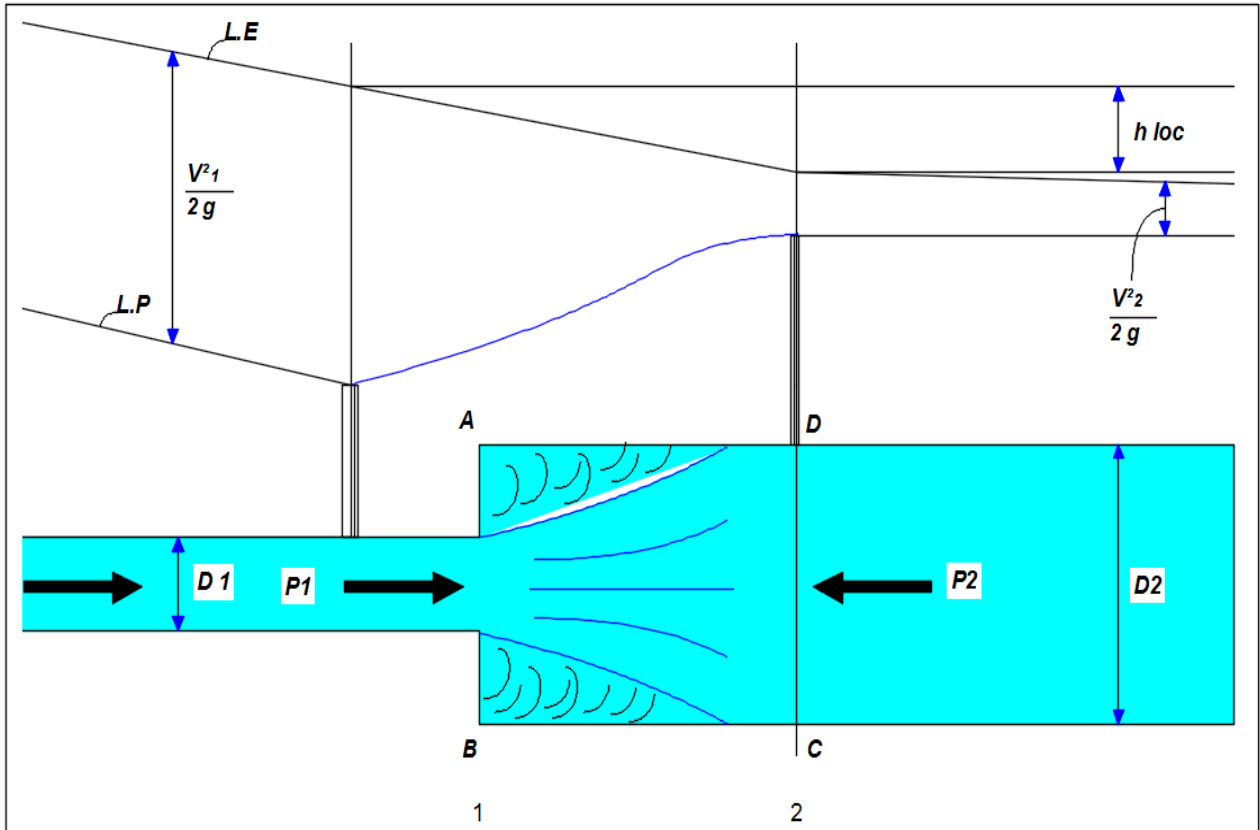


Ilustración 8: Pérdida de carga por ensanchamiento.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_{loc}$$

Para el volumen ABCD comprendido entre las secciones 1 y 2, debe cumplirse que la resultante de las fuerzas exteriores es igual al cambio de la cantidad de movimiento.

$$(p_1 - p_2)A_2 = \rho Q(V_2 - V_1)$$

Considerando que el coeficiente de Boussinesq es 1. Y dividiendo esta última expresión por γA_2 se obtiene: (Rocha)

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1 V_2}{g}$$

Luego de transformaciones algebraicas y agrupando se obtiene:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Ecuación de la energía

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_{loc}$$

Comparando esta expresión con la ecuación de la energía, se concluye que la pérdida de carga en el ensanchamiento brusco es:

$$h_{loc} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

b) Ensanchamiento gradual

La pérdida de energía en un ensanchamiento gradual (cónico) ha sido estudiada experimentalmente, entre otros, por Gibson. En una expansión gradual se producen torbellinos y vórtices a lo largo de la superficie de separación, que determinan una pérdida de carga adicional a la que corresponde por fricción con las paredes. Este fenómeno fue descrito en el capítulo III al estudiar la teoría de la capa límite. La pérdida de carga en el ensanche gradual es la suma de la pérdida por rozamiento con las paredes, más la pérdida por formación de torbellinos. En un ensanche gradual hay mayor longitud de expansión que en un ensanche brusco. (Rocha)

Gráfico de Gibson

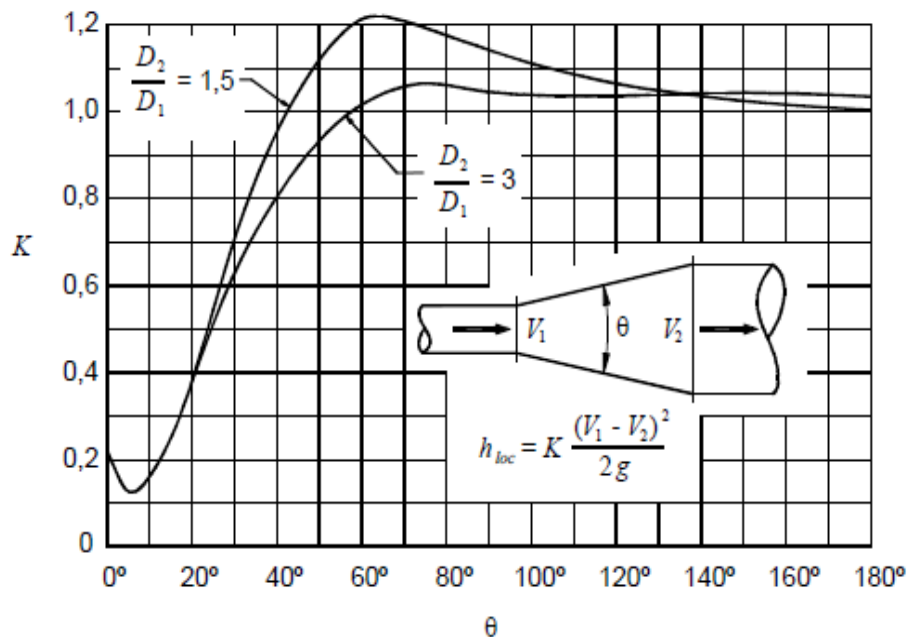


Ilustración 9: Pérdida de carga por ensanchamiento gradual. (Rocha)

Cambios de dirección

Un cambio de dirección significa una alteración en la distribución de velocidades. Se producen en zonas de separación del escurrimiento y de sobrepresión en el lado exterior. (Rocha)

El caso más importante es el codo de 90°. Cuya pérdida de carga es:

$$h_{loc} = 0.9 \times \frac{V^2}{2g}$$

Para el codo de 45° la pérdida de carga es:

$$h_{loc} = 0.42 \times \frac{V^2}{2g}$$

Para el codo de curvatura fuerte la pérdida de carga es:

$$h_{loc} = 0.75 \times \frac{V^2}{2g}$$

Para el codo de curvatura suave la pérdida de carga es:

$$h_{loc} = 0.6 \times \frac{V^2}{2g}$$

Válvulas

Una válvula produce una pérdida de carga que depende del tipo de válvula y del grado de abertura. Los principales valores de k son:

Válvula globo (completamente abierta).	10
Válvula de compuerta (Completamente abierta)	0.19
Válvula check (completamente abierta)	2.5
Válvula mariposa	0.3

Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, vimos que en las conducciones se produce también los tipos de pérdidas debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de líquidos por puntos singulares de las tuberías, que hemos descrito, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc. y que se conocen como pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares, que sumadas a las pérdidas de carga continuas dan las pérdidas de carga totales.

Los valores señalados son meramente referenciales pues varían mucho con el diámetro de la tubería y el grado de abertura. (Rocha)

Accesorios

Los valores de k para los siguientes accesorios son:

TEE	1.80	Unión autoportante	0.20
Codo 45°	0.42	Medidor de flujo	0.35
YEE	0.85	Válvula Mariposa	0.30
Válvula de alivio	1.50	Salida	1.00

2.6 Fórmulas de Hazen Williams.

Usado recurrentemente para calcular la velocidad del agua en tuberías circulares o llenas, éstas trabajan a presión. (Rocha)

En función del radio hidráulico:

$$V = 0.8494 \times C \times R h^{2.63} \times S^{0.54}$$

En función al diámetro

Entonces:

$$Q = 0.28 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

Para el cálculo de pérdidas de carga por fricción o rozamiento por longitud se utilizará la siguiente ecuación: (Rocha)

$$H_f = S \times L$$

Donde:

S: Pendiente (m/m)

HF: Perdida de carga

C: Coeficiente de rugosidad

L: Longitud de tubería

D: Diámetro interior de Tubería

Gravedad: 9.796 m/seg². al cuadrado a 4450 msnm

Q: en metros cúbicos por segundo.

J: m/m

L: Longitud en metros.

V: Velocidad: en metros por segundo.

Tabla 1: Coeficiente de rugosidad “C”.

Material	C
Hierro Galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130-140
Plástico (PE,PVC)	140-150
Tubería lisa nueva	140
Acero nuevo	140-150
Acero	130
Acero rolado	110
Lata	130
Madera	120
Hormigón	120-140

2.7 Sumergencia

Aquel nivel limite donde se generan vórtices a la entrada de la succión, considerando así, la siguiente fórmula para el cálculo de sumergencia.

$$F_r = \frac{V}{(g \cdot D)^{0.5}}$$
$$S = D (1 + 2.3 F_r) \dots \text{Sumergencia sin vórtices}$$

Dónde:

S = Altura de sumergencia para eliminar totalmente el vórtice

V = Velocidad de entrada del agua. (m/s)

g = aceleración de la gravedad. (m/s²)

D = Diámetro de orificio de la voluta (m)

F_r = Numero de Froude.

Consideraciones para el área en la succión:

ÁREA DE LOS AGUJEROS multiplicado por 4 debe ser mayor al ÁREA DE LA TUBERÍA.

2.8 Ecuación de la energía aplicada a la mecánica de fluidos.

Para el cálculo de la altura dinámica total utilizaremos la ecuación de la energía.

Como se muestra: (Rocha)

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \sum h_{f1-2}$$

Es decir, que al pasar de 1 a 2 hay una parte de la energía que se “pierde” que no se transforma en presión, velocidad o elevación. Es la energía consumida en forma de fricción y que denominamos H_f , pérdida de energía o pérdida de carga. (Rocha)

Entonces para el cálculo de la altura dinámica total, utilizaremos la siguiente ecuación.

$$ADT = H_E + \frac{P_d - P_s}{\gamma} + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + \sum h_f$$

Energía de Presión.

Energía de Velocidad.

Altura estática.

Pérdidas por fricción.

Calculo de la altura real de la bomba

Entonces para calcular la altura real da cada unidad d bombeo se utilizará la siguiente ecuación de la energía.

$$ADT\ real = P_d - P_s + \Delta H + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g}$$

Donde:

Pd: Presión de descarga.

Ps: Presión de succión.

ΔH : Variación de altura.

Vd: Velocidad de descarga.

Vs: Velocidad de succión.

En la siguiente imagen apreciaremos el detalle de la variación de la altura entre los manómetros ubicados al ingreso y salida de cada unidad de bombeo, como base teórica para realizar dichos cálculos en función al diseño de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha- Rímac.

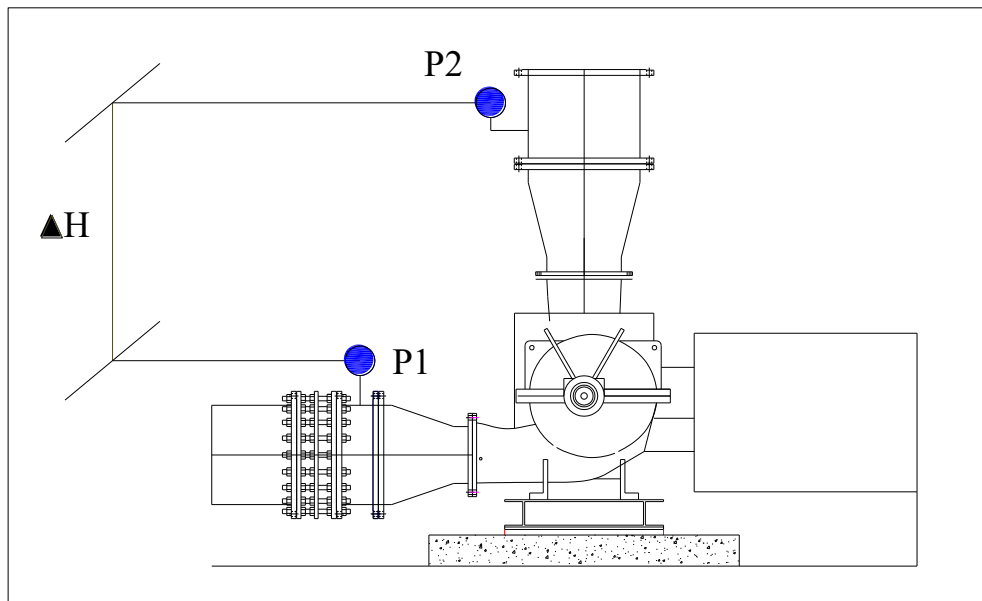


Ilustración 10: Detalle de variación, para el cálculo de la altura real de la bomba.

2.9 Cálculo de caudal de descarga en compuertas

Ecuación: $Q = C_d b a \sqrt{2gy_1}$ Caudal en m³/s

b: Ancho de la compuerta

a: Apertura de compuerta

Y1: Tirante aguas arriba compuerta (cota del embalse).

Cd: Coeficiente de descarga

Cc: Coeficiente de contracción

Cv: Coeficiente de velocidad.

Para fines prácticos

$$C_c = 0.62$$

$$C_v = 0.96 + 0.079 \frac{a}{y_1}$$

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{y_1}}} C_c C_v$$

$$Y_2 = C_c \times a$$

$$L = a/C_c$$

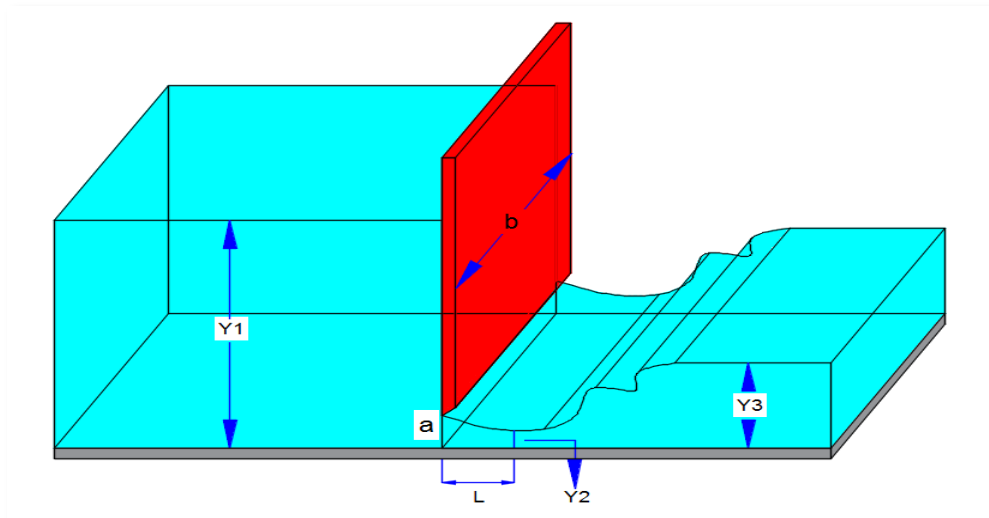


Ilustración 11: En la imagen se aprecia los detalles para el cálculo mencionado

Capítulo III

3.1 Línea Base del Proyecto.

3.1.1 Diseño.

La concepción del proyecto de derivación Huascacocha - Rímac, fue para impulsar un caudal de agua de $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$. Al sistema Marca III de Sedapal. Para lo cual se instalaron unidades de bombeo de procedencia holandesa como es de la firma Norit Nijhuis.

Según el diseño con tres unidades de bombeo bastaría para entregar nuestro caudal solicitado, según los anexos del contrato de concesión del proyecto de derivación Huascacocha - Rímac.

Las cuatro unidades elegidas según el proyecto son de $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$, entonces.

Al operar con tres unidades de bombeo y según el diseño del proyecto se tendría:

$$3 \text{ unidades} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lo que es suficiente para trasvasar el caudal de $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1.1.1 Características de las unidades de bombeo. (presentaremos las condiciones de diseño inicial del proyecto).

A continuación, presentamos la curva H-Q proporcionada por el fabricante.

Según el diseño de la estación de bombeo del proyecto Huascacocha, presentamos las unidades que se requirieron al fabricante según la altura de elevación y el caudal solicitado.

El fabricante cumplió con las solicitudes exigidas, entonces las pruebas reales se tienen que presentar en la operación en campo, en donde se deberá llegar al caudal requerido en el diseño de la estación de bombeo. Es así que, en el desarrollo del siguiente trabajo, mostraremos las deficiencias en el diseño y operación.

Bombas NIJHUIS, Modelo: HGTF1-450.800C

Tabla 2: Datos de pruebas del fabricante.

Bomba HGTF1-450.800C

Serie: 55624

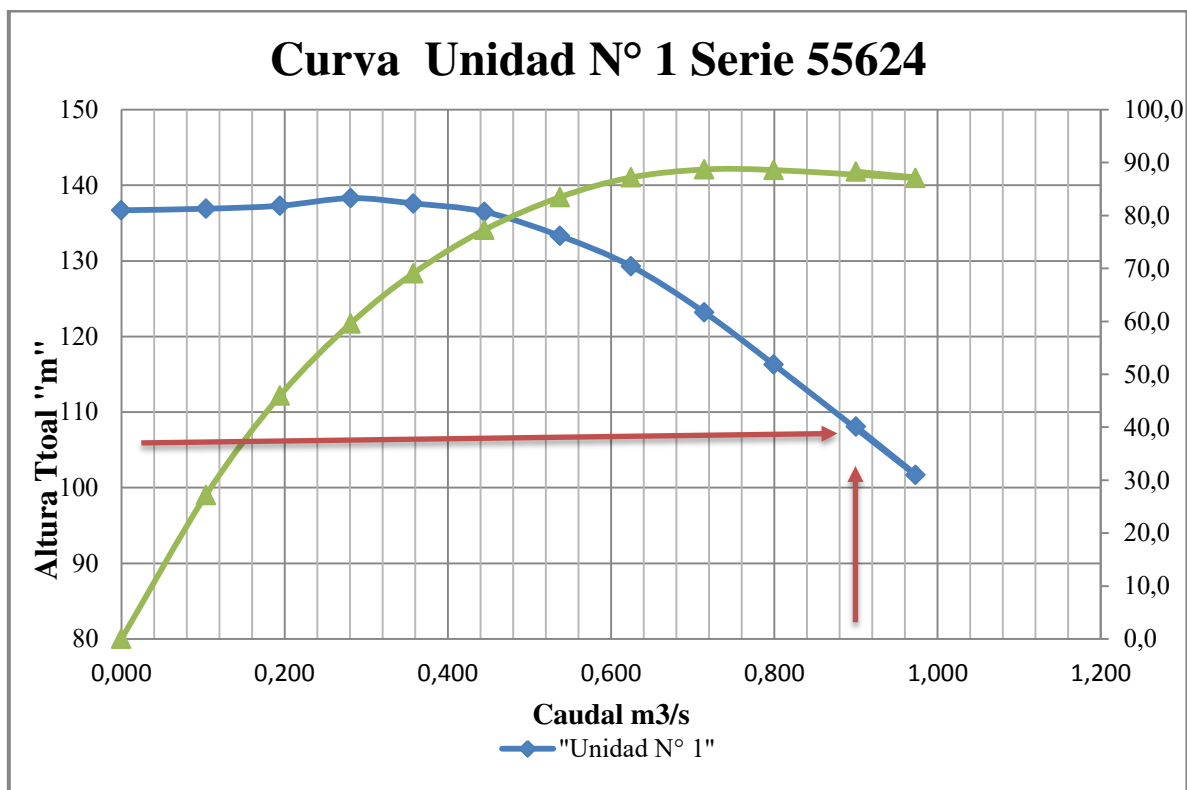
Unidad N° 1

N°	Q m ³ /h	Q m ³ /s	H. suc. (mlc)	H des. (mlc)	H vel. (mlc)	H man (mlc)	n (1/min)	P dis. (kW)	P Shaft (kW)	Ef. (%)
1	3240	0.900	1.57	108.60	1.12	108.1	1196	1118.2	1079.1	88.3
2	3503	0.973	2.68	103.10	1.30	101.7	1195	1152.6	1112.3	87.1
3	2877	0.799	1.18	116.60	0.88	116.3	1196	1064.2	1027.0	88.6
4	2571	0.714	1.21	123.70	0.70	123.2	1197	1005.9	970.7	88.7
5	2248	0.624	1.20	130.00	0.54	129.3	1198	939.8	906.9	87.2
6	1935	0.538	0.95	133.90	0.40	133.3	1198	870.7	840.2	83.5
7	1601	0.445	0.75	137.00	0.27	136.5	1199	796.3	768.4	77.3
8	1288	0.358	1.29	138.70	0.18	137.6	1200	722.0	696.7	69.1
9	1011	0.281	1.22	139.40	0.11	138.3	1201	660.8	637.7	59.6
10	700	0.194	1.05	138.30	0.05	137.3	1202	588.4	567.8	46.0
11	373	0.104	0.99	137.90	0.01	136.9	1202	529.2	510.7	27.2
12	0	0.000	1.22	137.90	0.00	136.7	1202	498.2	480.8	0.0

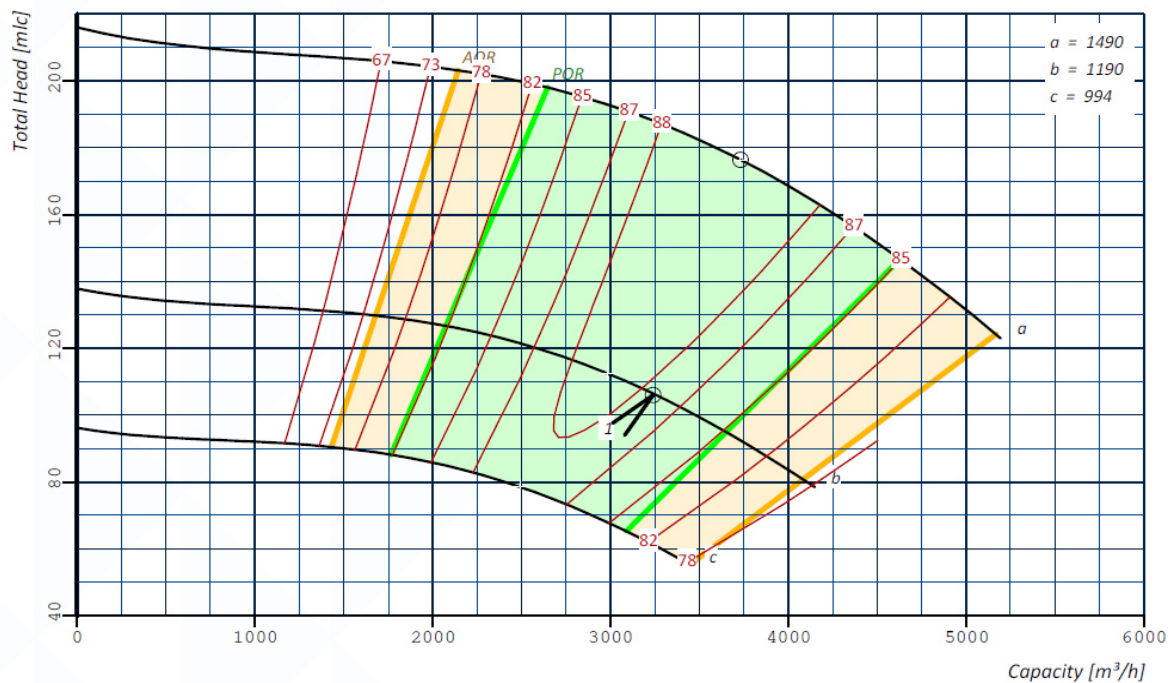
Se muestra también los datos obtenidos del fabricante para graficar el punto de operación del sistema.

Caudal: 3240 m³/h (0,9m³/s)
 Altura: 106,0 mlc.
 Potencia 1066 Kw.
 Eficiencia: 87,7 %
 NPSHr: 7,9 mlc.

Gráfica 1: Curva característica de una unidad de bombeo.



Gráfica 2: Referencia del fabricante sobre la selección de la unidad de bombeo.



3.1.1.2. Punto de operación de diseño.

Tabla 3: Tabla de datos del fabricante. (Epasa)

Dos Bombas		Tres Bombas		Cuatro Bombas		Eficiencia
Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	n
1.80	108.05	2.70	107.93	3.67	106.18	88.20
1.94	101.40	2.91	101.07	3.82	102.65	86.53
1.60	116.30	2.40	116.17	3.30	114.15	88.70
1.43	123.10	2.14	123.10	3.04	119.30	88.60
1.25	129.25	1.88	129.40	2.78	124.05	87.40
1.07	133.40	1.62	133.43	2.44	128.83	83.97
0.91	136.35	1.35	136.57	2.08	132.98	78.07
0.72	137.95	1.07	138.07	1.71	135.73	69.30
0.56	138.50	0.84	138.60	1.38	137.38	60.17
0.38	137.65	0.57	137.77	1.03	137.40	45.67
0.20	137.20	0.30	137.40	0.66	137.55	26.70
0.00	137.40	0.00	137.67	0.26	137.88	0.00

Entonces obtenemos la curva del sistema utilizando la siguiente ecuación:

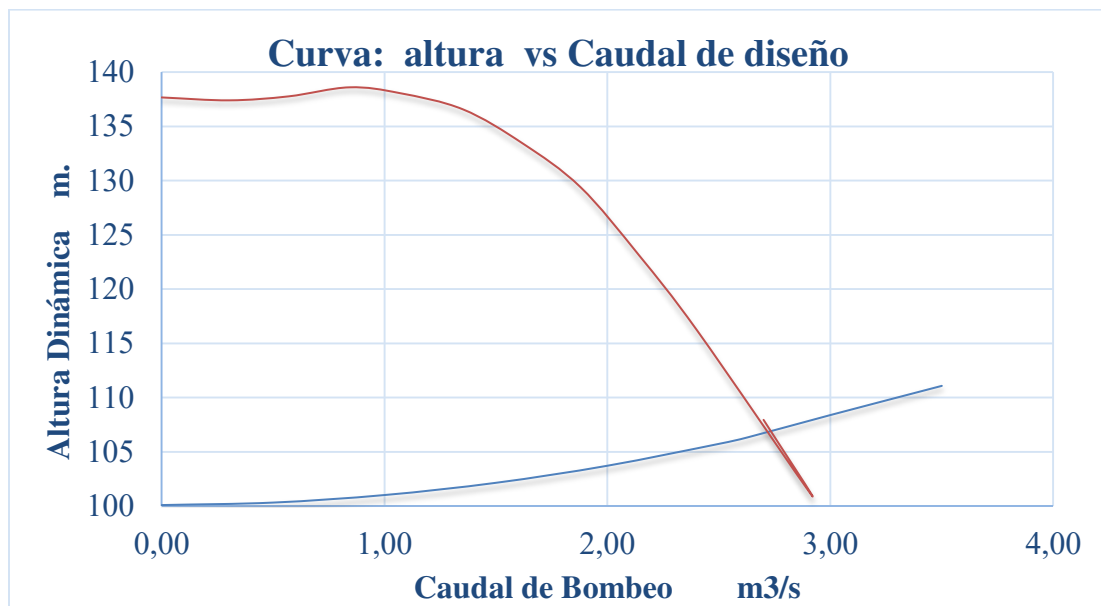
$$Q = 0.28 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

Q	D	C	$J^{0.54}$	hf	velocidad	Altura	Altura	Pérdida	Altura	Altura
m^3/s	m			m	v	Estática	Estática	por acc.	Estática	Dinámica
					m/s		+hf		+hf+acc	total
0.0	1.20	145	0.000	0.00	0.00	100.09	100.09	0.00	100.09	100.09
0.5	1.20	145	0.008	0.04	0.44	100.09	100.13	0.18	100.31	100.32
1.0	1.20	145	0.015	0.14	0.88	100.09	100.23	0.74	100.97	101.01
1.5	1.20	145	0.023	0.30	1.33	100.09	100.39	1.66	102.05	102.14
2.0	1.20	145	0.030	0.51	1.77	100.09	100.60	2.95	103.55	103.71
2.5	1.20	145	0.038	0.77	2.21	100.09	100.86	4.61	105.47	105.73
2.63	1.20	145	0.040	0.85	2.33	100.09	100.93	5.11	106.04	106.33
3.0	1.20	145	0.046	1.08	2.65	100.09	101.17	6.84	108.01	108.38
3.5	1.20	145	0.053	1.44	3.09	100.09	101.52	9.04	110.56	111.08

Entonces las pérdidas de carga se obtuvieron de los accesorios como se muestra a continuación, para luego ser remplazar en la ecuación mencionada y lograr encontrar la altura dinámica total.

Descripción	Nº	Coef.	Longitud	Pérdida de carga	Caudal	Perdida de carga
		$V^2/2g$	m.	m.	m³/s	accesorios
Tubería GRP 1200 mm			326.52	0.85	0	0
Tee de vuelta	1	1.8		0.52	5	0.18
Tee de paso	5	1.8		2.61	1	0.74
Codo 22.5°	2	0.25		0.15	1.5	1.66
Codo 45°	4	0.35		0.41	2	2.95
Valvula. Comp.	1	0.19		0.06	2.5	4.61
Caudalímetro	1	0.19		0.06	2.63	5.11
Filtro	1	1		0.29	3	6.84
Valvula. Alivio	1	1		0.29	3.5	9.04
Unión Dresser	3	0.2		0.17		
Entrada	1	0.9		0.26		
Salida	1	1		0.29		
Suma de pérdidas de Carga (Hf)				5.11		

Gráfica 3: Curva de operación de diseño del proyecto.



Diseñado para impulsar 2.63m³/s con tres unidades de bombeo a una altura dinámica total de 106 m. Considerando una altura estática de 100.1 m.

El objetivo de esta tesis es mejorar el rendimiento de la estación de bombeo mediante un análisis integral hidráulico basado en pruebas experimentales y datos extraídos del sistema SCADA que opera la planta. Pruebas de rendimiento en la estación de bombeo antes durante y después de los cálculos y las correcciones y recomendaciones necesarias para mejorar el rendimiento del sistema hidráulico de trasvase de agua del proyecto derivación Huascacocha-Rímac. En base a aspectos claros como presiones del sistema, rendimiento de unidades de bombeo y el punto de operación del sistema.

Parámetros a utilizar:

- Presión de succión.
- Presión de impulsión.
- Nivel de poza de succión.
- Velocidad del motor.
- Caudal.
- Energía

Constatación de las condiciones de operación antes y después de la evaluación integral del análisis hidráulico mediante el consumo de energía eléctrica del sistema de trasvase durante la operación.

Parámetros a mejorar:

- Presión de succión.
- Presión de impulsión.
- Nivel de poza de succión.
- Caudal.
- Consumo de Energía

3.1.2. Condiciones de Operación encontrados como escenario negativo.

3.1.2.1. Definición de problema, contexto y operación hasta el 2015.

Para las condiciones hasta el 2015, exponemos lo siguiente. Según el diseño del proyecto de derivación Huascacocha Rímac, dichas unidades deberían estar impulsando el caudal diseñado a razón de $2.63\text{m}^3/\text{s}$. lo cual en la práctica no se cumple, tal es así que, durante todo dicho tiempo de operación, se han venido dando condiciones negativas para la estación de bombeo, desde la parte operativa, hasta la económica, las cuales afectan al proyecto de derivación Huascacocha. Llegando a trasvasar hasta $2.55\text{ m}^3/\text{s}$. al sistema Marca III de Sedapal, conllevando a incumplimientos diarios, hasta mensuales, debido a la exigencia del contrato de operación.

Como aspecto fundamental, tomamos como partida lo siguiente: dichas unidades de bombeo fueron elegidas, según el caudal de diseño solicitado, por ende, el fabricante suministro dichas unidades con las características descritas en la parte de diseño. Lo cual se considera que no fue la mejor elección debido a que si el caudal a trasvasar era de $2.63\text{m}^3/\text{s}$. en el requerimiento al fabricante se ha debido de ser muy explícito a la hora de exponer y solicitar las características de las unidades de bombeo para el proyecto, dimensionando lo necesario para una buena respuesta del sistema a lo requerido. Esto quiere decir que, desde la ya elección de las unidades de bombeo y su operación en el proyecto Huascacocha hasta el 2015, condicionan la respuesta de trabajo del sistema instalado.

Se tiene que tener en cuenta que la operación y parámetros de una unidad de bombeo a su máximo caudal, y un sistema en paralelo con las mismas e idénticas unidades de bombeo, son totalmente distintas y eso se puede corroborar con la teoría fundamental de la mecánica de fluidos. Detalles como lo descrito que no fueron tomados en cuenta en la elección de las unidades para el proyecto de derivación Huascacocha- Rímac.

El problema que se manifiesta en la operación del trasvase, es que con las tres unidades en operación no es posible llegar al caudal de trasvase como es $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ya que el caudal promedio máximo actual que se puede llegar con las tres unidades de bombeo mencionadas es de solo $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ante esto surge la necesidad de poner en marcha nuestra cuarta unidad de bombeo, generándonos gastos en nuestro consumo de energía y en el mantenimiento de esta ya que constantemente está en operación.

También se hace presente que de acuerdo al diseño de la planta de trasvase del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac, el caudal de trasvase según consta en el contrato de concesión obedece a trasvasar $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$, las 24 horas del día, durante los 30 o 31 días de operación según corresponda al mes.

De lo expuesto en la definición del problema, se concluye que la estación de bombeo, diseñada para un caudal de $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$, con tres unidades de bombeo, no está cumpliendo lo diseñado ya que con las tres unidades mencionadas, la estación de bombeo trasvasa un caudal de $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$, obligando a la parte operativa a poner en marcha la cuarta unidad de bombeo y el costo económico que genera el de operar la cuarta unidad de bombeo, aumentando nuestro consumo de energía y el de su propio mantenimiento ya que esta unidad también entra en operación durante el día para poder alcanzar la meta diaria y/o mensual establecida en el contrato de concesión.

Considerando que, en el diseño inicial, la cuarta unidad de bombeo fue implementada para entrar en operación cuando cualquier otra unidad de bombeo este en mantenimiento y/o parada por cualquier motivo, y por ende mantener la disponibilidad de la estación con tres unidades de bombeo siempre.

También el costo de consumo de energía en hora punta establecida para la operación del sistema de trasvase en el horario de 6:00 pm a 11:00 pm. Y la necesidad de establecer un plan de operación, donde ya no sea necesario utilizar la cuarta unidad de bombeo para llegar a la meta diaria establecida en el trasvase de agua, sin necesidad de operar la cuarta unidad de bombeo en hora punta, para esto se buscará un rendimiento óptimo del sistema de bombeo.

3.1.2.2. Sobre los parámetros.

Sobre los parámetros ya mencionados, estos no fueron los esperados en la operación hasta fines del 2015.

Parámetros a mejorar.

- Presión de succión. (valores negativos, siendo el sistema, de succión positiva).
- Presión de impulsión. (Pérdida de presión constante).
- Nivel de poza de succión. (Bajos niveles de energía para el sistema).
- Caudal. (Valores por debajo del diseño)
- Consumo Energía. (alto consumo de energía debido a las condiciones de operaciones actuales).

Sobre la succión:

Enmarcaremos el desarrollo del presente trabajo, considerando que se evaluarán dichas condiciones de succión, bajo normas técnicas internacionales, considerando que éstas son desarrolladas por la ingeniería, para una adecuada aplicación en el sistema que se requiera. Tales como: Área de orificios de las canastillas, concepto de sumergencia, y otros.

Entonces, con la aplicación de lo antes descrito, se busca también conseguir una mejora del rendimiento de la estación de bombeo Huascacocha, optimizando las condiciones de la succión, y que éstas sean reflejadas en una mejora de la estación de bombeo.

Ejemplo concreto: Se muestra que para la succión de las unidades los valores son negativos de hasta -0.386, considerando que el sistema es de succión positiva. Entonces es una clara muestra que no son buenas condiciones de operación.

Fecha	VELOCIDAD					SUCCIÓN					NIVEL POZA
	Variador	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Marca III	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	
07-07-2015 18:15:00	1097.70	1192.95	1105.40	1192.48	1193.67	2.360	-0.019	-0.007	-0.153	-0.386	110.28 %
07-07-2015 18:30:00	1157.00	1165.90	1192.70	1193.19	1194.82	2.548	0.000	-0.070	-0.092	-0.380	109.68 %
07-07-2015 18:45:00	1156.91	1192.68	1191.48	1192.25	1161.99	2.609	-0.009	-0.066	-0.096	-0.367	109.34 %

Sobre el nivel de la poza de succión:

Nivel en %		Altura de poza en m	Cota del tirante en msnm
Nivel de referencia:		4442.21	
#	Nivel Máximo	4.40	4446.61
1	105.00%	3.99	4446.20
2	104.00%	3.95	4446.16
3	95.00%	3.61	4445.82
4	90.00%	3.42	4445.63
5	85.00%	3.23	4445.44

Valor máximo de 105% (en el cual, a partir del valor indicado, se empieza a perder flujo por el vertedero). Un valor mínimo de 85% no considerando la información del nivel de sumergencia para el sistema. Por ende, un sistema repetitivo de encendido y apagado para las unidades de bombeo no aportan a un eficiente sistema de impulsión de la estación de bombeo.

Sobre la presión de impulsión:

Variación de 9 a 10 bar.

Sobre el caudal impulsado:

Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
01-10-2015 00:10:00	2.975362062	2.896353006	0.079009056
01-10-2015 00:20:00	2.906527996	2.840206146	0.06632185
01-10-2015 00:30:00	2.898614168	2.828724861	0.069889307
01-10-2015 01:40:00	2.878953695	2.806105137	0.072848558
01-10-2015 03:40:00	2.850179911	2.789300203	0.060879707
01-10-2015 05:40:00	2.84812212	2.777767897	0.070354223

Se concluye que en el sistema se deberá realizar una inspección con el fin de encontrar pérdidas de carga entre el flujómetro de la zona 400 y en el de Marca III. Además, obviamente de revisar los mismos flujómetros.

Sobre el consumo de energía:

2015						
Fecha	Estación m ³ /s	Marca III m ³ /s	nivel poza %	H(m.c.a)	Potencia CM3 (kw)	Eficiencia
1/05/2015 05:45	3.27	3.19	100.74	113.89	4472	79.59%
1/05/2015 06:45	3.28	3.18	102.27	113.86	4445	79.93%
1/05/2015 07:15	3.21	3.12	101.21	113.35	4345	79.75%
1/05/2015 00:30	2.74	2.63	98.13	110.11	3620	78.54%
1/05/2015 00:45	2.69	2.60	93.60	109.12	3565	78.17%
1/05/2015 04:15	2.67	2.58	87.56	108.99	3524	78.25%
1/05/2015 01:00	2.60	2.52	87.60	108.66	3450	77.80%
26/06/2015 12:00	2.58	2.49	104.29	108.51	3410	77.68%
1/05/2015 12:30	1.80	1.74	104.64	105.10	2355	76.21%
1/07/2015 06:00	1.76	1.71	99.75	105.04	2312	76.17%
1/05/2015 23:00	0.89	0.81	109.40	104.41	1206	68.93%

Se muestra la potencia para la temporada indicada, con el presente trabajo se mejorará el consumo eléctrico.

3.1.3 Operación actual conseguida debido a la implementación de mejoras.

3.1.2.1. Sobre las mejoras implementadas.

Éstas mejoras se implementarán a fin de conseguir un óptimo rendimiento de la estación de bombeo Huascacocha.

Se mejorará las condiciones de operación de la planta con lo siguiente:

- Línea de energía constante.
- Mejora de capacidad de almacenamiento de la poza de succión.
- Nivel constante de en la poza de succión (disminución de altura estática).
- Control de sedimentos en la succión.
- Mejora de diseño en el área de succión.

3.1.2.2. Sobre los nuevos parámetros.

Se conseguirán mejores resultados para los siguientes parámetros.

- Presión de succión de la unidad de bombeo N° 1;2;3;4. > 1 . mlc
- Presión de descarga de la unidad de bombeo N° 1;2;3;4. Promedio de 10 bar.
- Nivel de la poza de succión de hasta 107%.

Presión de línea principal:

- Presión de impulsión del sistema. ≥ 10 Bar.
- Caudal impulsado por el sistema. $2.631 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Altura dinámica total. 107.60 mlc.

A continuación, se presenta el desarrollo de los alcances del modo de operación hasta el 2015, y también el desarrollo luego de implementar los trabajos y conceptos del presente trabajo como es la mejora del rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac.

Entonces, averiguar las causas que originan el déficit de caudal, nos lleva a estudiar claramente aspectos como las presiones del sistema (succión e impulsión), y el importante punto de operación del sistema.

Datos y Metodología

Analizaremos los datos reales de operación.

3.2 Análisis de las condiciones de succión.

Alcances de las condiciones de succión de la estación de bombeo de trasvase Huascacocha-Rímac.

El trabajo de analizar datos extraídos, conllevara a identificar condiciones en la succión que podrían afectar el rendimiento y/o punto de operación de las unidades de bombeo.

En las inspecciones de operación diarias, y en los registros de datos obtenidos de la estación de bombeo, se constató que las presiones de succión llegan a registrar presiones negativas, debido a que se obstruyen las canastillas de succión, con material solido que cae en el transcurso de la conducción y más recurrentemente por las algas que crecen en las paredes del canal de conducción, ya que estas llegan a obstruir la succión generando presiones negativas. Estas presiones negativas se pueden visualizar en los anexos de datos extraídos de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac.

Consideramos también que el problema que se presenta en la succión afecta notablemente el rendimiento del sistema de impulsión, para esto se dará una serie de recomendaciones que puedan dar solución al sistema de canastillas que se usa actualmente, ya que el agua conducida llega hasta las canastillas de las unidades de bombeo sin otros controles de sedimentos anteriores.

Siendo la primera y última línea las canastillas montadas en las succiones de las unidades de bombeo.

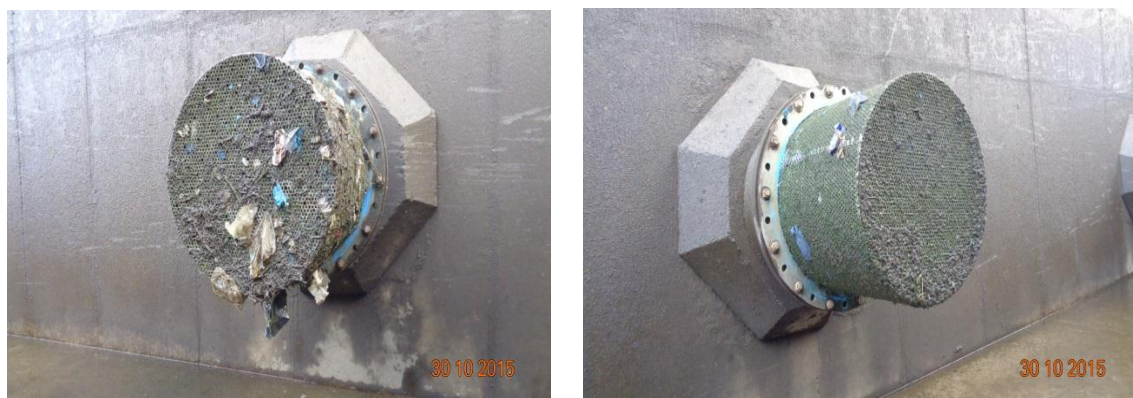


Ilustración 12: En las imágenes se aprecia la obstrucción generada por sólidos y algas en las canastillas de la succión por cada unidad de bombeo. (Epasa)

A continuación, se muestra ilustraciones de operación de trasvase: Donde se puede apreciar el trabajo de dos unidades de bombeo a capacidad máxima y la tercera unidad de bombeo mediante flujo regulado, a través del variador de velocidad.

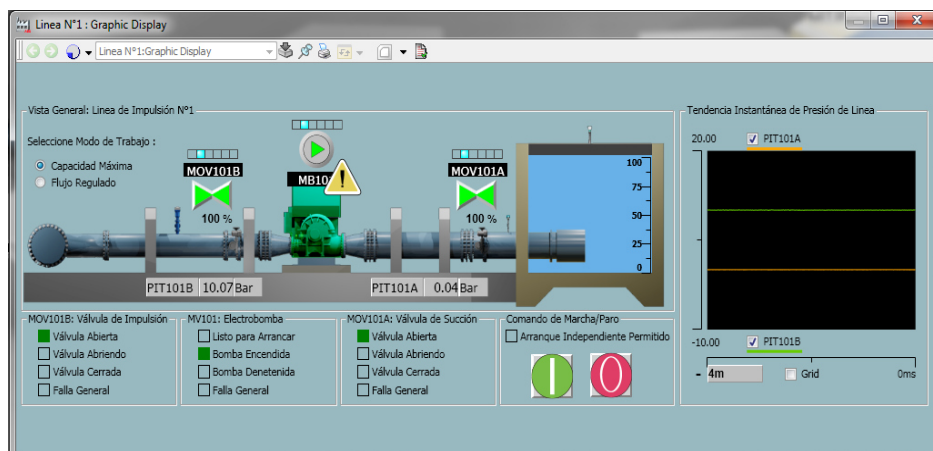


Ilustración 13: Unidad de bombeo N° 1 en condiciones reales de operación. (0.04bar, suc.) (Epasa)

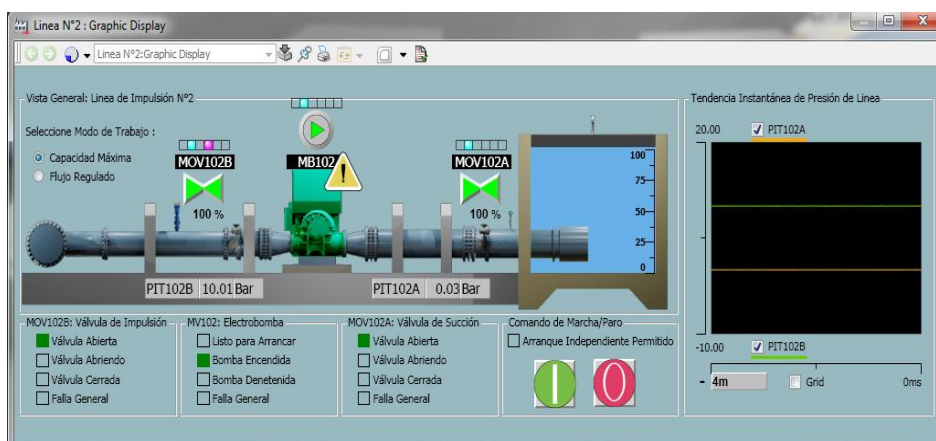


Ilustración 14: Unidad de bombeo N° 2 en condiciones reales de operación. (0.03bar, suc.) (Epasa)

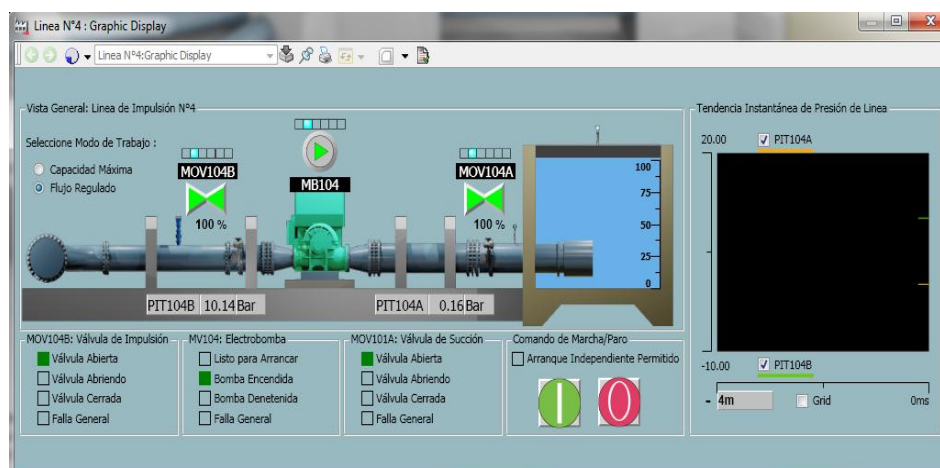


Ilustración 15: Unidad de bombeo N° 4. En condiciones reales de operación. Donde se aprecia el trabajo de la unidad de bombeo. (0.16 bar, presión de succión). (Epasa)

Ahora, una vez identificado una disminución de presión, se procede a limpiar las rejillas de forma manual, lo que actualmente se viene realizando, en estos trabajos de limpieza hay que considerar que para limpiar cada rejilla es necesario parar la unidad de bombeo donde se registró presiones negativas, esto debido a las fuerzas de succión de la unidad de bombeo, por eso el detalle de limpiarlas apagadas, perdiendo hasta 30 min por la limpieza de cada filtro o rejilla de succión.

De igual manera que en la parte de descripción del problema, los 30 min por cada unidad, llegan a acumular una hora y media de operación para las tres unidades de bombeo. Ahora considerando un flujo de trasvase de $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$, por cada unidad, calcularemos el volumen que se pierde, por el solo hecho de limpiar las canastillas de succión de cada unidad de bombeo. (Caudal registrado de hasta $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$)

$$0.850 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 60 \times 60 \times 0.5 \text{ horas} = 1530 \text{ m}^3$$

El volumen que se deja de trasvasar, es considerable, es por eso que parte del modo de operación de la estación de bombeo Huascacocha, es poner en marcha las cuatro unidades de bombeo, para recuperar dichos volúmenes, como lo explicado, debido a la limpieza de las canastillas de succión. Ya que de lo contrario se pondría en riesgo la meta diaria o mensual establecida por Sedapal, e incurrir en las penalidades que estas imponen por incumplimiento mensual del trasvase de agua al sistema Marca III.

A continuación, se muestra los datos reales de operación que se obtuvieron para el análisis correspondiente, en esta parte se analizará las condiciones de succión de las unidades de bombeo.

Para dicho análisis se utilizará básicamente los siguientes parámetros de operación como son:

- Velocidad (RPM) de los motores
- Caudal en el medidor de flujo electromagnéticos (m^3/s)
- Presión de Succión de las unidades (Bar)
- Presión de descarga de las unidades y del sistema.
- Altura dinámica total.

Tabla 4: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Junio 2015. (Epasa)

FECHA	VELOCIDAD										
	VARIADOR	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MARCA 3	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	NIVEL POZA
26-06-2015 05:30:00	1027	1191.249	1189.837	1031.609	1189.887	2.599	-0.096	-0.070	0.104	0.012	99.131
26-06-2015 05:45:00	1027	1195.940	1194.602	1031.624	1195.153	2.596	-0.095	-0.071	0.104	0.011	99.166
26-06-2015 06:00:00	1027	1194.400	1192.883	1031.582	1193.256	2.594	-0.095	-0.071	0.105	0.012	99.178
26-06-2015 06:15:00	1027	1195.306	1193.661	1031.571	1194.120	2.596	-0.096	-0.071	0.102	0.012	99.195
26-06-2015 06:30:00	1027	1192.301	1191.035	1031.758	1191.438	2.597	-0.095	-0.070	0.103	0.012	99.179
26-06-2015 06:45:00	1027	1192.457	1191.336	1031.639	1191.479	2.603	-0.096	-0.071	0.104	0.013	99.098
26-06-2015 07:00:00	1038	1194.892	1193.150	1043.343	1193.451	2.659	-0.098	-0.072	0.079	0.008	97.858
26-06-2015 07:15:00	1038	1195.738	1194.212	1043.400	1194.747	2.652	-0.100	-0.076	0.075	0.004	96.615
26-06-2015 07:30:00	1038	1193.085	1191.698	1043.353	1191.851	2.644	-0.103	-0.078	0.072	-0.001	95.560
26-06-2015 07:45:00	1038	1195.278	1193.759	1043.289	1194.551	2.625	-0.104	-0.079	0.069	-0.003	94.594
26-06-2015 08:00:00	1038	1193.920	1192.391	1043.273	1192.513	2.635	-0.106	-0.081	0.068	-0.003	93.713
26-06-2015 08:15:00	1049	1192.757	1191.360	1054.344	1191.899	2.679	-0.109	-0.083	0.043	-0.007	92.257
26-06-2015 08:30:00	0	1192.660	1191.256	0.000	1191.664	2.261	-0.098	-0.074	0.152	0.002	97.124
26-06-2015 08:45:00	0	0.000	1193.136	1194.105	1193.624	2.413	0.188	-0.058	0.143	0.009	105.340
26-06-2015 09:00:00	1049	1055.137	1194.664	1195.491	1195.436	2.830	0.074	-0.056	0.144	0.011	106.208
26-06-2015 09:15:00	1049	1055.189	1190.884	1191.597	1191.203	2.788	0.058	-0.070	0.120	-0.010	99.028
26-06-2015 09:30:00	1049	1055.162	1191.240	1191.721	1191.655	2.760	0.045	-0.077	0.105	-0.023	94.544
26-06-2015 09:45:00	0.0	27.394	1193.923	1194.395	1194.280	2.351	0.142	-0.082	0.097	-0.028	91.902
26-06-2015 10:00:00	0	0.000	1192.264	1192.622	1192.738	2.397	0.171	-0.067	0.125	-0.005	100.341
26-06-2015 10:15:00	0	0.000	1193.171	1193.487	1193.569	2.405	0.185	-0.058	0.139	0.006	104.418
26-06-2015 10:30:00	0	0.000	1191.651	1192.283	1191.951	2.430	0.196	-0.050	0.149	0.014	107.517
26-06-2015 10:45:00	1049	1055.226	1191.791	1192.353	1192.130	2.802	0.058	-0.064	0.126	-0.006	101.389
26-06-2015 11:00:00	1049	1055.092	1192.762	1193.246	1192.865	2.769	0.047	-0.073	0.110	-0.022	96.908
26-06-2015 11:15:00	1049	1055.120	1191.248	1191.655	1191.513	2.752	0.035	-0.080	0.095	-0.032	93.030
26-06-2015 11:30:00	0	0.000	1194.671	1194.984	1195.319	2.375	0.162	-0.073	0.114	-0.017	98.305

Tabla 5: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Julio 2015. (Epasa)

FECHA	VELOCIDAD										
	VARIADOR	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MARCA 3	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	NIVEL POZA
06-07-2015 03:00:00	1114	1121.954	1190.771	1191.259	1191.163	2.826	-0.085	-0.105	-0.088	-0.061	100.737
06-07-2015 03:15:00	1114	1121.876	1191.458	1192.144	1191.954	2.819	-0.086	-0.106	-0.089	-0.062	100.336
06-07-2015 03:30:00	1114	1121.943	1194.121	1194.663	1194.450	2.808	-0.086	-0.106	-0.089	-0.063	100.140
06-07-2015 03:45:00	1114	1121.923	1192.020	1192.647	1192.481	2.804	-0.086	-0.107	-0.090	-0.062	99.911
06-07-2015 04:00:00	1103	1110.632	1191.929	1192.612	1192.185	2.788	-0.071	-0.107	-0.090	-0.062	99.891
06-07-2015 04:15:00	1103	1110.659	1191.050	1191.758	1191.602	2.791	-0.070	-0.106	-0.089	-0.061	100.476
06-07-2015 04:30:00	1103	1110.585	1192.831	1193.431	1193.325	2.790	-0.069	-0.106	-0.088	-0.061	100.619
06-07-2015 04:45:00	1103	1110.615	1192.953	1193.701	1193.556	2.792	-0.069	-0.106	-0.088	-0.060	101.015
06-07-2015 05:00:00	1103	1110.543	1191.298	1191.886	1191.839	2.789	-0.068	-0.106	-0.091	-0.059	101.323
06-07-2015 05:15:00	1103	1110.638	1194.381	1195.072	1194.802	2.785	-0.066	-0.105	-0.090	-0.058	101.807
06-07-2015 05:30:00	1103	1110.763	1191.673	1192.160	1192.048	2.790	-0.066	-0.105	-0.089	-0.059	102.090
06-07-2015 05:45:00	1103	1110.678	1194.745	1195.308	1195.171	2.793	-0.065	-0.104	-0.089	-0.057	102.410
06-07-2015 06:00:00	1103	1110.697	1194.320	1194.911	1194.477	2.795	-0.064	-0.103	-0.088	-0.057	102.728
06-07-2015 06:15:00	1103	1110.660	1194.323	1195.137	1194.800	2.793	-0.063	-0.102	-0.088	-0.056	102.887
06-07-2015 06:30:00	1103	1110.876	1192.206	1192.774	1192.612	2.800	-0.063	-0.103	-0.087	-0.055	103.086
06-07-2015 06:45:00	1103	1110.717	1194.239	1195.172	1194.866	2.806	-0.061	-0.102	-0.087	-0.055	103.252
06-07-2015 07:00:00	1103	1110.753	1192.434	1193.247	1192.843	2.811	-0.063	-0.102	-0.086	-0.055	103.245
06-07-2015 07:15:00	1105	1112.893	1193.099	1193.717	1193.476	2.807	-0.066	-0.102	-0.086	-0.055	103.186
06-07-2015 07:30:00	1105	1112.992	1193.557	1194.164	1194.048	2.812	-0.066	-0.102	-0.086	-0.056	103.130
06-07-2015 07:45:00	1105	1112.895	1194.606	1195.567	1195.333	2.806	-0.065	-0.101	-0.086	-0.056	103.132
06-07-2015 08:00:00	1105	1112.952	1195.089	1195.602	1195.388	2.806	-0.065	-0.101	-0.086	-0.058	103.100
06-07-2015 08:15:00	1105	1112.928	1193.546	1194.022	1193.967	2.800	-0.065	-0.100	-0.086	-0.060	103.227
06-07-2015 08:30:00	1105	1112.907	1194.024	1194.756	1194.695	2.803	-0.066	-0.099	-0.086	-0.061	103.124
06-07-2015 08:45:00	1105	1112.900	1193.816	1194.425	1194.305	2.799	-0.066	-0.099	-0.086	-0.062	103.199
06-07-2015 09:00:00	1105	1113.005	1192.205	1192.711	1192.617	2.792	-0.066	-0.098	-0.086	-0.065	103.252

Tabla 6: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Agosto2015. (Epasa)

FECHA	VELOCIDAD										
	VARIADOR	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MARCA 3	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	NIVEL POZA
11-08-2015 17:15:00	0	1194.126	1192.510	1193.089	0.000	2.566	0.141	0.143	0.147	0.177	102.620
11-08-2015 17:30:00	1070	1193.111	1191.561	1192.223	1076.821	3.083	0.123	0.124	0.129	0.149	98.170
11-08-2015 17:45:00	1070	1192.800	1190.991	1191.832	1076.807	3.069	0.110	0.112	0.115	0.134	94.295
11-08-2015 18:00:00	0.00086546	1192.641	1191.061	1191.714	0.450	2.543	0.102	0.103	0.107	0.140	91.887
11-08-2015 18:15:00	0	1192.791	1191.310	1191.902	0.000	2.566	0.149	0.146	0.151	0.187	105.225
11-08-2015 18:30:00	1175.92883	1194.586	1192.986	1193.585	1180.829	3.328	0.095	0.093	0.097	0.109	91.012
11-08-2015 18:45:00	0	1194.019	1192.323	1192.947	0.000	2.576	0.149	0.144	0.149	0.189	105.735
11-08-2015 19:00:00	1027	1192.636	1190.897	1191.834	1030.832	2.847	0.134	0.127	0.130	0.171	101.387
11-08-2015 19:15:00	1031.52222	1194.076	1192.370	1193.150	1036.018	2.905	0.138	0.130	0.135	0.175	102.810
11-08-2015 19:30:00	1033	1193.063	1191.475	1192.371	1036.774	2.913	0.138	0.123	0.135	0.177	103.014
11-08-2015 19:45:00	1038	1193.432	1191.884	1192.780	1042.794	2.931	0.137	0.121	0.133	0.174	102.641
11-08-2015 20:00:00	1036	1194.526	1192.772	1193.462	1040.779	2.927	0.139	0.122	0.135	0.176	102.946
11-08-2015 20:15:00	1036	1192.731	1191.375	1192.071	1040.792	2.926	0.138	0.116	0.134	0.176	102.868
18-08-2015 11:15:00	1040	1193.477	1044.759	1192.418	1192.409	2.863	0.071	0.154	-0.002	0.039	102.245
18-08-2015 11:30:00	1042.35828	1192.654	1047.290	1191.846	1191.846	2.879	0.072	0.151	-0.001	0.037	102.522
18-08-2015 11:45:00	1043	1194.847	1047.968	1193.989	1193.968	2.895	0.070	0.150	-0.002	0.036	102.150
18-08-2015 12:00:00	1043	1191.982	1048.249	1191.343	1191.421	2.875	0.071	0.150	-0.002	0.036	102.354
18-08-2015 12:15:00	1043	1194.551	1048.219	1193.776	1193.688	2.890	0.071	0.149	-0.001	0.036	102.501
18-08-2015 12:30:00	1043	1192.541	1048.132	1191.735	1191.651	2.895	0.072	0.150	-0.001	0.036	102.571
18-08-2015 12:45:00	1043	1194.642	1048.158	1193.972	1193.791	2.887	0.070	0.150	0.000	0.036	102.648
18-08-2015 13:00:00	1045	1193.698	1049.512	1192.747	1192.646	2.896	0.070	0.148	-0.001	0.034	102.462
18-08-2015 13:15:00	1045	1193.113	1049.577	1192.390	1192.340	2.889	0.070	0.147	-0.001	0.035	102.406
18-08-2015 13:30:00	1045	1194.817	1049.813	1193.778	1193.584	2.884	0.070	0.147	-0.002	0.033	102.391
18-08-2015 13:45:00	1045	1193.189	1049.628	1192.482	1192.586	2.891	0.070	0.146	-0.003	0.033	102.320
18-08-2015 14:00:00	1045	1194.163	1049.677	1193.427	1193.203	2.881	0.069	0.146	-0.002	0.032	102.241

Tabla 7: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Setiembre 2015. (Epasa)

FECHA	VELOCIDAD										
	VARIADOR	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MARCA 3	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	NIVEL POZA
02-09-2015 01:30:00	1060	1193.318	1064.972	1192.189	1192.035	2.967	-0.029	0.122	0.078	0.145	102.101
02-09-2015 01:45:00	1060	1194.590	1065.099	1193.390	1193.487	2.967	-0.032	0.114	0.071	0.137	100.103
02-09-2015 02:00:00	1038	1193.802	1042.109	1192.543	1192.446	2.849	-0.029	0.140	0.074	0.140	100.829
02-09-2015 02:15:00	1038	1192.709	1042.303	1191.795	1191.710	2.852	-0.027	0.139	0.076	0.141	101.272
02-09-2015 02:30:00	1038	1191.821	1042.257	1190.931	1190.901	2.848	-0.026	0.138	0.075	0.142	101.279
02-09-2015 02:45:00	1038	1192.542	1042.382	1191.665	1191.580	2.857	-0.025	0.139	0.075	0.141	101.165
02-09-2015 03:00:00	1038	1192.031	1042.120	1191.084	1191.006	2.854	-0.025	0.138	0.074	0.140	101.092
02-09-2015 03:15:00	1038	1193.568	1042.341	1192.402	1192.284	2.856	-0.024	0.138	0.073	0.139	101.005
02-09-2015 03:30:00	1038	1191.623	1042.225	1190.655	1190.700	2.853	-0.024	0.136	0.073	0.139	100.766
02-09-2015 03:45:00	1038	1194.831	1042.238	1193.552	1193.629	2.857	-0.023	0.140	0.074	0.139	101.096
02-09-2015 04:00:00	1033	1192.704	1036.469	1191.625	1191.446	2.832	-0.021	0.144	0.076	0.142	101.746
02-09-2015 04:15:00	1032.90833	1194.481	1036.613	1193.365	1193.494	2.845	-0.020	0.143	0.076	0.142	101.895
02-09-2015 04:30:00	1036	1193.799	1040.354	1192.477	1192.511	2.852	-0.019	0.143	0.077	0.143	102.036
02-09-2015 04:45:00	1036	1193.372	1040.274	1192.464	1192.438	2.850	-0.019	0.143	0.076	0.143	101.907
02-09-2015 05:00:00	1036	1192.649	1040.428	1191.566	1191.601	2.849	-0.019	0.143	0.076	0.143	101.874
02-09-2015 05:15:00	1036	1192.799	1040.303	1191.934	1191.753	2.859	-0.026	0.143	0.075	0.141	101.394
02-09-2015 05:30:00	1034	1192.195	1037.908	1191.524	1191.432	2.853	-0.025	0.143	0.074	0.140	101.314
02-09-2015 05:45:00	1034	1193.581	1037.789	1192.483	1192.522	2.857	-0.026	0.143	0.074	0.140	101.305
02-09-2015 06:00:00	1034	1194.284	1038.037	1193.321	1193.070	2.860	-0.025	0.143	0.074	0.139	101.275
02-09-2015 06:15:00	1034	1192.889	1037.708	1192.143	1191.664	2.850	-0.025	0.143	0.074	0.139	101.184
02-09-2015 06:30:00	1034	1193.058	1037.969	1192.239	1192.011	2.855	-0.026	0.143	0.073	0.139	101.048
02-09-2015 06:45:00	1034	1194.642	1037.954	1193.571	1193.688	2.857	-0.026	0.139	0.073	0.138	101.031
02-09-2015 07:00:00	1034	1195.497	1037.969	1194.306	1194.530	2.855	-0.025	0.139	0.073	0.138	100.905
02-09-2015 07:15:00	1032.92468	1192.471	1036.626	1191.312	1191.516	2.842	-0.025	0.139	0.073	0.139	101.102
02-09-2015 07:30:00	1033	1194.722	1036.790	1193.929	1193.982	2.850	-0.025	0.139	0.073	0.139	101.084

Tabla 8: Datos de operación, estación de bombeo Huascacocha, Octubre2015. (Epasa)

FECHA	VELOCIDAD										
	VARIADOR	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MARCA 3	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	NIVEL POZA
10-25-2015 14:55:00	1040	1189.083	1044.602	1188.185	1188.130	2.788	-0.012	0.079	-0.005	0.045	100.512
10-25-2015 15:00:00	1040	1195.861	1044.609	1195.231	1194.911	2.791	-0.012	0.081	-0.006	0.045	100.543
10-25-2015 15:05:00	1040	1196.992	1044.560	1196.189	1196.206	2.792	-0.012	0.080	-0.006	0.044	100.440
10-25-2015 15:10:00	1040	1194.524	1044.609	1193.313	1193.589	2.791	-0.012	0.078	-0.006	0.044	100.326
10-25-2015 15:15:00	1040	1195.336	1044.452	1194.320	1194.420	2.785	-0.012	0.079	-0.006	0.044	100.330
10-25-2015 15:20:00	1040	1194.835	1044.612	1193.915	1193.878	2.789	-0.013	0.079	-0.006	0.045	100.400
10-25-2015 15:25:00	1040	1192.491	1044.611	1191.665	1191.756	2.798	-0.012	0.079	-0.005	0.046	100.371
10-25-2015 15:30:00	1040	1193.197	1044.518	1192.410	1192.446	2.790	-0.012	0.079	-0.005	0.045	100.438
10-25-2015 15:35:00	1040	1193.578	1044.495	1192.832	1192.666	2.793	-0.012	0.078	-0.005	0.046	100.484
10-25-2015 15:40:00	1040	1194.226	1044.493	1193.386	1193.443	2.791	-0.012	0.079	-0.005	0.046	100.426
10-25-2015 15:45:00	1040	1194.618	1044.480	1193.644	1193.673	2.790	-0.012	0.079	-0.006	0.046	100.369
10-25-2015 15:50:00	1040	1194.786	1044.478	1193.804	1194.019	2.789	-0.013	0.079	-0.006	0.046	100.355
10-25-2015 15:55:00	1040	1194.355	1044.495	1193.292	1193.308	2.791	-0.013	0.078	-0.005	0.046	100.339
10-25-2015 16:00:00	1040	1192.891	1044.583	1192.109	1192.068	2.787	-0.012	0.079	-0.005	0.047	100.353
10-25-2015 16:05:00	1040	1196.180	1044.432	1195.545	1195.467	2.790	-0.013	0.080	-0.006	0.047	100.344
10-25-2015 16:10:00	1040	1192.868	1044.635	1191.897	1191.838	2.788	-0.012	0.079	-0.004	0.047	100.546
10-25-2015 16:15:00	1040	1192.642	1044.484	1192.105	1192.188	2.789	-0.012	0.079	-0.004	0.048	100.721
10-25-2015 16:20:00	1040	1192.731	1044.684	1192.117	1191.861	2.790	-0.012	0.079	-0.004	0.047	100.680
10-25-2015 16:25:00	1040	1192.023	1044.636	1191.189	1191.129	2.784	-0.012	0.079	-0.005	0.047	100.483
10-25-2015 16:30:00	1040	1191.175	1044.486	1190.661	1190.583	2.789	-0.013	0.079	-0.006	0.047	100.453
10-25-2015 16:35:00	1040	1189.920	1044.573	1189.409	1188.893	2.791	-0.013	0.078	-0.004	0.047	100.486
10-25-2015 16:40:00	1040	1191.681	1044.447	1191.239	1191.246	2.788	-0.012	0.078	-0.005	0.047	100.571
10-25-2015 16:45:00	1040	1195.110	1044.508	1194.290	1194.275	2.785	-0.013	0.078	-0.005	0.047	100.581
10-25-2015 16:50:00	1040	1195.140	1044.514	1194.294	1194.156	2.788	-0.012	0.078	-0.005	0.047	100.632
10-25-2015 16:55:00	1040	1194.859	1044.398	1193.729	1193.939	2.786	-0.012	0.080	-0.005	0.046	100.706

De los cuadros presentados como son: Junio, Julio, agosto, setiembre y octubre, todas estas de la temporada de operación 2015, se aprecia que en el transcurso de los meses desde junio a octubre en todas ellas se registras presiones negativas afectando el rendimiento del sistema de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac. Del registro de todos los datos obtenidos es importante señalar que se identificó o se registró presiones negativas de hasta -0.386 bares el día 07/07/2015 a horas 18:15.

Tabla 9: Se muestra el registro de succiones negativas de hasta -0.386. (Epasa)

FECHA	VELOCIDAD					SUCCIÓN					NIVEL POZA
	Variador	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Marca III	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	
07-07-2015 18:15:00	1097.70	1192.95	1105.40	1192.48	1193.67	2.360	-0.019	-0.007	-0.153	-0.386	110.28%
07-07-2015 18:30:00	1157.00	1165.90	1192.70	1193.19	1194.82	2.548	0.000	-0.070	-0.092	-0.380	109.68%
07-07-2015 18:45:00	1156.91	1192.68	1191.48	1192.25	1161.99	2.609	-0.009	-0.066	-0.096	-0.367	109.34%

Luego de los registros mostrados en todos los cuadros presentados en la parte del análisis de las condiciones de succión, es necesario señalar que es un problema recurrente la aparición de succiones negativas, y que se necesitan mejores condiciones en la succión, por lo tanto se evaluara dichas condiciones, bajo las normas técnicas internacionales, bajo éste enfoque, se verá el área de succión de las canastillas, también la sumergencia, por ultimo las condiciones en situ, del proyecto Huascacocha y sus particularidades en la succión. Resaltamos que se trabajara en obtener mejores condiciones en la succión, aun considerando que una particularidad del proyecto son la obstrucción por algas donde se ayudara al mantenimiento y mejorando en este aspecto puntualmente, muy aparte de las condiciones de succión que se mejoraran bajo normas. Otro aspecto es que la poza de succión, es que no cuenta con un sistema de control de sedimentos que permita el ingreso de materiales, solidos sedimentados y las propias algas. Ingresando el agua directamente a las canastillas de succión ubicados en cada succión de cada unidad de bombeo. Por lo descrito en esta parte del análisis de las condiciones de succión se tomarán las medidas y/o recomendaciones para una eficiente succión de las unidades de bombeo. (Cuellar)



Ilustración 16: En la imagen se aprecia que el agua que llega a través de los 35km de conducción desde la represa hasta la poza de succión sin control de sedimentos anteriores. (Epasa)

Es importante señalar que, en los registros de funcionamiento de la estación de bombeo, se puede apreciar, que en el informe de operación diaria y/o mensual del mes de junio del 2014, se aprecia el impacto del mal control de sedimentos o de las algas, hasta de una deficiente forma de operación de las unidades de bombeo del proyecto de trasvase Huascacocha-Rímac.

La consecuencia se aprecia en el cuadro siguiente, donde el resultado de dicho mes de operación fue, el no cumplimiento de las metas diarias, poniendo en riesgo el cumplimiento mensual de trasvase de agua a Sedapal.

Tabla 10: Datos de Operación, estación de bombeo Huascacocha, junio 2014. (Epasa)

Fecha Junio 2014		Volumen Bombeado			
		Volumen Programado (m3)	Volumen Ejecutado (m3)	Diferencia %	Q prom. día m³/s
1	Dom	227150	250799.0	10.4%	2.903
2	Lun	227150	235515.5	3.7%	2.726
3	Mar	227150	217270.5	-4.3%	2.515
4	Mié	227150	224787.5	-1.0%	2.602
5	Jue	227150	224182.5	-1.3%	2.595
6	Vie	227150	223308.0	-1.7%	2.585
7	Sáb	227150	213062.0	-6.2%	2.466
8	Dom	227150	246333.0	8.4%	2.851
9	Lun	227150	231901.0	2.1%	2.684
10	Mar	227150	220981.0	-2.7%	2.558
11	Mié	227150	221507.0	-2.5%	2.564
12	Jue	227150	221424.0	-2.5%	2.563
13	Vie	227150	222529.0	-2.0%	2.576
14	Sáb	227150	222631.0	-2.0%	2.577
15	Dom	227150	236939.0	4.3%	2.742
16	Lun	227150	231984.0	2.1%	2.685
17	Mar	227150	218664.0	-3.7%	2.531
18	Mié	227150	229511.0	1.0%	2.656
19	Jue	227150	215583.0	-5.1%	2.495
20	Vie	227150	223371.0	-1.7%	2.585
21	Sáb	227150	223063.0	-1.8%	2.582
22	Dom	227150	238451.0	5.0%	2.760
23	Lun	227150	243356.0	7.1%	2.817
24	Mar	227150	222168.0	-2.2%	2.571
25	Mié	227150	241114.0	6.1%	2.791
26	Jue	227150	222299.0	-2.1%	2.573
27	Vie	227150	231587.0	2.0%	2.680
28	Sáb	227150	244220.0	7.5%	2.827
29	Dom	227150	235340.0	3.6%	2.724
30	Lun	227150	183161.0	-19.4%	2.120
Total		6814485.0	6817042.0	0.0%	2.630

Se hace presente que en el periodo de operación 2015 también se registró diferencias negativas con respecto al volumen programado diario como por ejemplo el día 27/06/2015 como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11: : Datos de Operación, estación de bombeo Huascacocha, Junio 2015. (Epasa)

Fecha Junio 2015		Volumen Bombeado			
		Volumen Programado (m3)	Volumen Ejecutado (m3)	Diferencia %	Q prom. día m³/s
1	Lun	227150	220257.0	-3.0%	2.549
2	Mar	227150	240598.5	5.9%	2.785
3	Mié	227150	254828.5	12.2%	2.949
4	Jue	227150	254652.5	12.1%	2.947
5	Vie	227150	255138.5	12.3%	2.953
6	Sáb	227150	253441.5	11.6%	2.933
7	Dom	227150	254907.0	12.2%	2.950
8	Lun	227150	253924.0	11.8%	2.939
9	Mar	227150	254607.0	12.1%	2.947
10	Mié	227150	252983.0	11.4%	2.928
11	Jue	227150	251504.0	10.7%	2.911
12	Vie	227150	250165.0	10.1%	2.895
13	Sáb	227150	250329.0	10.2%	2.897
14	Dom	227150	248394.0	9.4%	2.875
15	Lun	227150	245918.0	8.3%	2.846
16	Mar	227150	248443.0	9.4%	2.875
17	Mié	227150	254393.0	12.0%	2.944
18	Jue	227150	243472.0	7.2%	2.818
19	Vie	227150	238162.0	4.8%	2.757
20	Sáb	227150	226541.0	-0.3%	2.622
21	Dom	227150	230943.0	1.7%	2.673
22	Lun	227150	238652.0	5.1%	2.762
23	Mar	227150	234276.0	3.1%	2.712
24	Mié	227150	230938.0	1.7%	2.673
25	Jue	227150	231420.0	1.9%	2.678
26	Vie	227150	224781.0	-1.0%	2.602
27	Sáb	227150	222367.0	-2.1%	2.574
28	Dom	227150	230340.0	1.4%	2.666
29	Lun	227150	159182.0	-29.9%	1.842
30	Mar	227150	0.0	-100.0%	0.000
Total		6814485.0	6955557.5	2.1%	2.683

Es necesario señalar que este tipo de operación diaria o una diferencia negativa en la operación con respecto al volumen diario programado, pone en riesgo la meta mensual del trasvase de agua a Sedapal, conllevando a penalidades, y en la parte operativa un incremento del costo de energía ya que las unidades de bombeo resultan forzadas en la operación, también que este volumen faltante diario se tiene que recuperar, utilizando la capacidad máxima de la estación de bombeo y disminuyendo al mínimo el margen de error en la operación diaria de dicha estación de bombeo. Resaltar también que el diseño de la estación de bombeo del proyecto Huascacocha es de 2.63 m³/s con tres unidades de bombeo, en consecuencia, el solo hecho de poner una unidad más en operación genera costos no considerados en el diseño, sobre todo en la parte eléctrica.

Cabe mencionar que, en el periodo de operación de los años 2014 y 2015, se han venido considerando alternativas de solución, que puedan mitigar el ingreso de los sedimentos o algas a la poza de succión. Alternativas que se darán a conocer en la parte de las conclusiones y/o recomendaciones.

A continuación, se presenta la siguiente ilustración de la poza de succión en buenas condiciones:



Ilustración 17: Se muestran la poza y canastillas de succión de las cuatro unidades de bombeo, completamente limpias después de una parada mensual. (Epasa)

Entonces en esta parte del Análisis de las condiciones de succión, podemos concluir que se tiene una deficiencia en la captación del recurso hídrico, ya que el agua llega a la estación de bombeo acompañado de residuos sólidos y las ya conocidas algas, que obstruyen las canastillas de succión, disminuyendo así notablemente el rendimiento de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac. Manifestándose en la operación diaria del trasvase, en donde se han registrado volúmenes por debajo de lo establecido en la meta diaria, y también en los registros de presiones negativas de las unidades de bombeo.

3.3 Análisis de las condiciones de impulsión.

Al igual que la succión de las unidades de bombeo, en la descarga de dichas unidades se cuenta con instrumentación para dar seguimiento a los parámetros de operación, un ejemplo claro es la presión de descarga que es monitoreado.

El sistema cuenta con electroválvulas y purgas de aire en las tuberías para cada unidad de bombeo. Las electrobombas son los equipos principales, mientras que las válvulas son equipos auxiliares, cuya operación frecuentemente estará supeditada al modo de operación de la bomba vinculada a ella.

A continuación, se muestran imágenes extraídas del sistema de operación de las unidades de bombeo en tiempo real.

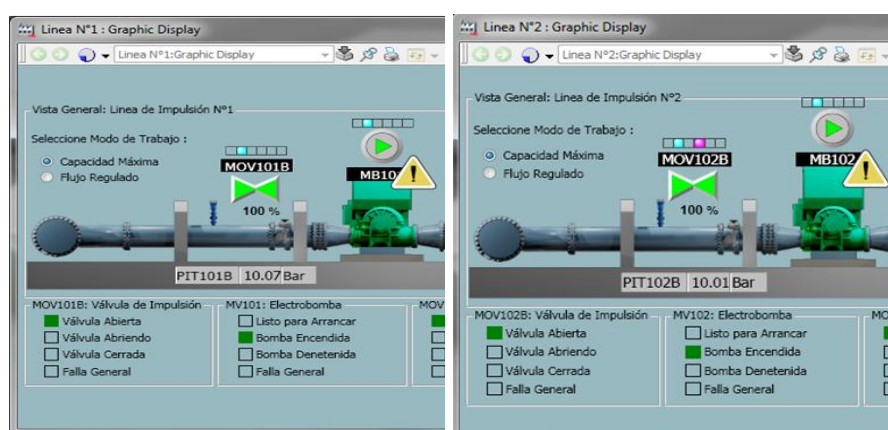


Ilustración 18: Unidades de bombeo 1, 2, 3, 4 con similar presión en la impulsión. (≥ 10 bar) (Epasa)

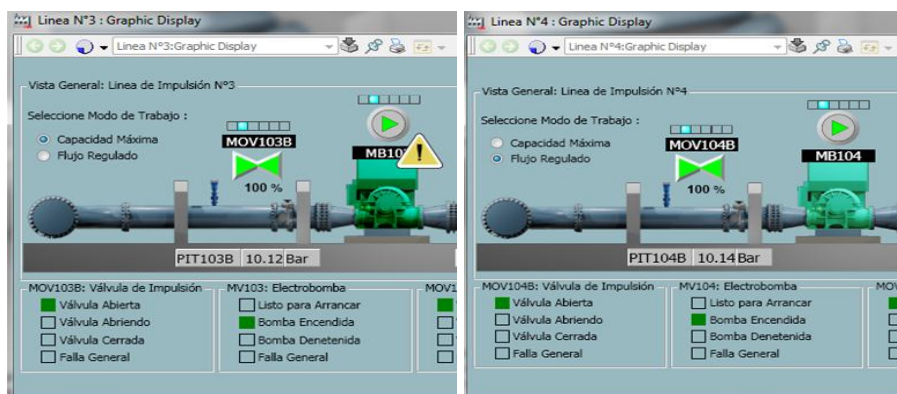


Ilustración 19: Unidades 1, 2, 3, 4 con similar presión en la impulsión. Se logra identificar las presiones de descarga a una apertura del 100% de la válvula mostrada. (≥ 10 bar) (Epasa)

En el sistema de impulsión por cada unidad tenemos el mismo control de parámetros verificando que en el tramo de tubería de 8m de descarga de las unidades en paralelo, esto antes de llegar a la línea principal de impulsión, registra un buen funcionamiento. Para ello se mostrará los cuadros de datos extraídos del sistema de impulsión, esto para dar conformidad de los registros obtenidos, y de que no se tiene inconvenientes en esta parte del análisis de las tuberías de descarga de las unidades de bombeo en paralelo.

Tabla 12: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha presión de las succiones de descarga para cada una de las unidades de bombeo. (Epasa)

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 1		Unidad 2		Unidad 3		Unidad 4	
			Succión B1	Des B1	Succión B2	Desc. B2	Succión B3	Desc. B3	Succión. B4	Desc. B4
10-01-2015 00:00:00	2.952	2.902	0.097	10.071	0.124	10.029	0.138	10.118	0.174	10.145
10-01-2015 00:10:00	2.975	2.896	0.091	10.066	0.118	10.030	0.131	10.118	0.166	10.145
10-01-2015 00:20:00	2.907	2.840	0.091	10.059	0.118	10.016	0.131	10.118	0.169	10.145
10-01-2015 00:30:00	2.899	2.829	0.089	10.057	0.115	10.017	0.128	10.118	0.166	10.145
10-01-2015 00:40:00	2.902	2.827	0.086	10.057	0.112	10.017	0.124	10.118	0.160	10.145
10-01-2015 00:50:00	2.877	2.824	0.083	10.055	0.109	10.020	0.121	10.118	0.158	10.145
10-01-2015 01:00:00	2.856	2.793	0.082	10.039	0.108	10.007	0.121	10.118	0.159	10.145
10-01-2015 01:10:00	2.602	2.549	0.096	10.011	0.122	9.970	0.137	10.118	0.180	10.145
10-01-2015 01:20:00	2.882	2.815	0.093	10.056	0.118	10.011	0.132	10.118	0.170	10.145
10-01-2015 01:30:00	2.870	2.811	0.091	10.056	0.117	10.012	0.132	10.118	0.171	10.145
10-01-2015 01:40:00	2.879	2.806	0.091	10.054	0.116	10.009	0.131	10.118	0.169	10.145
10-01-2015 01:50:00	2.850	2.796	0.091	10.051	0.115	10.001	0.130	10.118	0.170	10.145
10-01-2015 02:00:00	2.853	2.790	0.090	10.054	0.114	10.005	0.130	10.118	0.170	10.145
10-01-2015 02:10:00	2.841	2.787	0.090	10.042	0.115	10.009	0.130	10.118	0.171	10.145
10-01-2015 02:20:00	2.855	2.792	0.090	10.049	0.113	9.999	0.130	10.118	0.168	10.145
10-01-2015 02:30:00	2.840	2.781	0.089	10.040	0.113	9.997	0.129	10.118	0.168	10.145
10-01-2015 02:40:00	2.840	2.784	0.089	10.053	0.113	10.005	0.129	10.118	0.171	10.145
10-01-2015 02:50:00	2.854	2.787	0.090	10.043	0.113	10.001	0.129	10.118	0.168	10.145
10-01-2015 03:00:00	2.842	2.786	0.089	10.043	0.112	10.002	0.128	10.118	0.170	10.145
10-01-2015 03:10:00	2.858	2.787	0.088	10.051	0.112	10.001	0.128	10.118	0.166	10.145
10-01-2015 03:20:00	2.835	2.784	0.089	10.044	0.112	9.997	0.128	10.118	0.166	10.145
10-01-2015 03:30:00	2.845	2.784	0.089	10.044	0.112	10.000	0.128	10.118	0.166	10.145
10-01-2015 03:40:00	2.850	2.789	0.089	10.055	0.112	10.002	0.128	10.118	0.167	10.145
10-01-2015 03:50:00	2.842	2.788	0.089	10.045	0.111	10.000	0.127	10.118	0.167	10.145
10-01-2015 04:00:00	2.852	2.791	0.089	10.049	0.111	10.003	0.128	10.118	0.167	10.145

3.3.1 Analizaremos el sistema de impulsión.

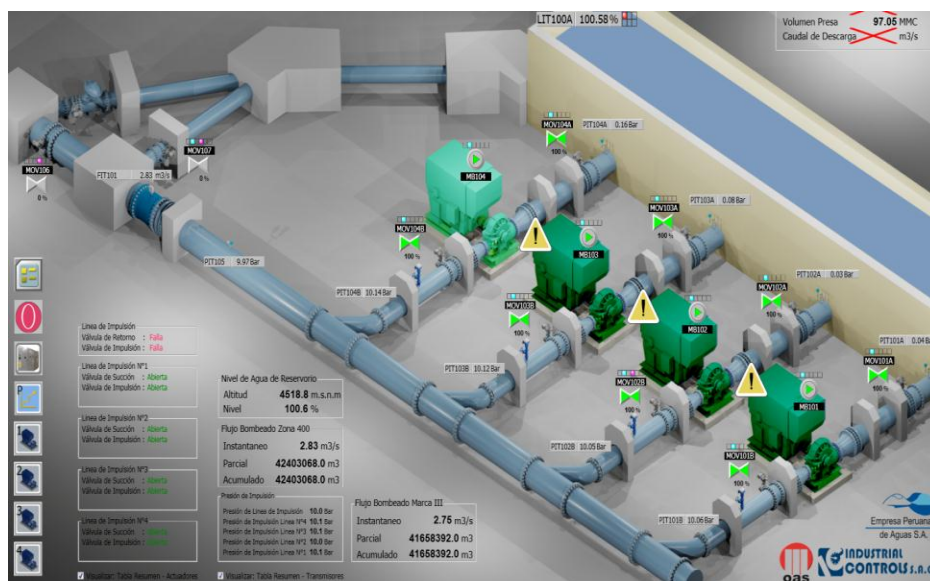


Ilustración 20: Unidades de bombeo 1, 2, 3, 4 en operación. (Epasa)

Para el sistema de impulsión las unidades de bombeo convergen mediante codos a 45 grados a la línea principal de impulsión de DN 1200 mm. Línea de impulsión que llega hasta el sistema marca III de Sedapal con un desnivel o altura estática de 100.10 m.

En el sistema de impulsión contamos con dos medidores de flujo electromagnéticos, uno en la parte baja o estación de bombeo o zona 400, (Fuera de servicio). y el segundo medidor de flujo se encuentra en la parte alta del sistema de impulsión, cerca del punto de entrega de Sedapal o Marca III. Estos para cuantificar el volumen trasvasado a Sedapal según el contrato de concesión.

Resaltamos que la facturación por el trasvase de agua a Sedapal está en función al medidor de flujo electromagnético instalado en el punto de entrega o Marca III.

Ante esto el análisis consiste en determinar, las posibles pérdidas de carga en el tramo de impulsión, ya que en este tramo tenemos accesorios como: válvula de alivio, juntas, válvulas mariposas, válvula de recirculación. (Esta válvula de recirculación se utilizó para realizar las pruebas de operación en la parte final de entrega del proyecto), actualmente no se utiliza dicho modo de operar las unidades de bombeo ya que nuestras pruebas de rendimiento son realizadas en una operación real de trasvase de agua hacia Marca III. (Cuellar)

3.3.2 Flujómetros Electromagnéticos

La lectura de flujómetros de la estación de bombeo o zona 400 y de Marca III o zona 500, se encuentran dentro de los parámetros de su factor de corrección para el sistema de impulsión.

Sobre los medidores de flujo electromagnéticos:

Su funcionamiento se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética. Una partícula cargada eléctricamente que pasa a través de un campo magnético produce una tensión que es perpendicular tanto al campo magnético como al vector velocidad y esta tensión es proporcional a la velocidad de la partícula. Dado que un líquido conductivo contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión (Ley de Faraday).



Ilustración 21: En la siguiente imagen podemos apreciar el medidor de flujo electromagnético instalado en la tubería de impulsión. (Zona 400 en la estación de bombeo). (Epasa)



Ilustración 22: En la siguiente imagen podemos apreciar el medidor de flujo electromagnético instalado en la tubería de impulsión. (Zona 500 Punto de entrega Marca III). (Epasa)

Los medidores de flujo electromagnéticos generan un campo magnético perpendicular a la corriente de flujo y miden la tensión producida por el fluido que pasa a través del instrumento. La tensión producida es proporcional a la velocidad media del fluido. Esta tensión es acondicionada y suministrada como salida analógica.

Características técnicas: Badger Meter Modelo M-2000 Para los cuales se utilizaron instrumentos patrones Flexim. (Epasa)

Tabla 13: Características de los flujómetros electromagnéticos (Epasa)

Nombre de Equipo	Modelo	N° de Serie	Descripción	N° de Certificado	Empresa Certificadora
Caudalimetro Ultrasonico	MODELO TRANSMISOR: FLUXUS G601/ MODELO TRANSDUCTOR: GRK1NW3	N° SERIE TRANSMISOR 06012534 / N° SERIE TRANSDUCTOR 28611	Caudalimetro Ultrasónico fluxus g 601 multifuncional. input t1: RTD pt 100/1000 t2/t3: 0/4...20ma passive t4:0... 1v. output p1/p2: 0/4...20ma passive p3/p4: relay p5: 0...5khz. de 10,5...15v, 1,5a. incluye sist de fijación al tubo QUICK FIX para convertidor de medición.	20111101-010	FLEXIM

Se adjunta Certificado.



Ilustración 23: En la imagen se aprecia el punto de entrega del trasvase a SEDAPAL. Marca III. (Epasa)

Entonces en esta parte del análisis de las condiciones de impulsión podemos concluir lo siguiente: Se tiene un registro en la impulsión \geq a 9 bar, en las cuatro unidades de bombeo, donde no hay mayores inconvenientes. Se tiene un registro en los medidores de caudal electromagnéticos instalados en la zona Marca III.

3.3.3 Registro de lectura de Flujómetros.

Se muestra los registros del 2015 de los flujómetros de la estación de Bombeo, y del punto de entrega a Sedapal. (Zona 400 Estación, Marca III Respectivamente). En dichos registros se puede apreciar que la lectura del flujómetro de la estación de bombeo o zona 400 y la de Marca III, difieren como se muestra en las tablas mostradas.

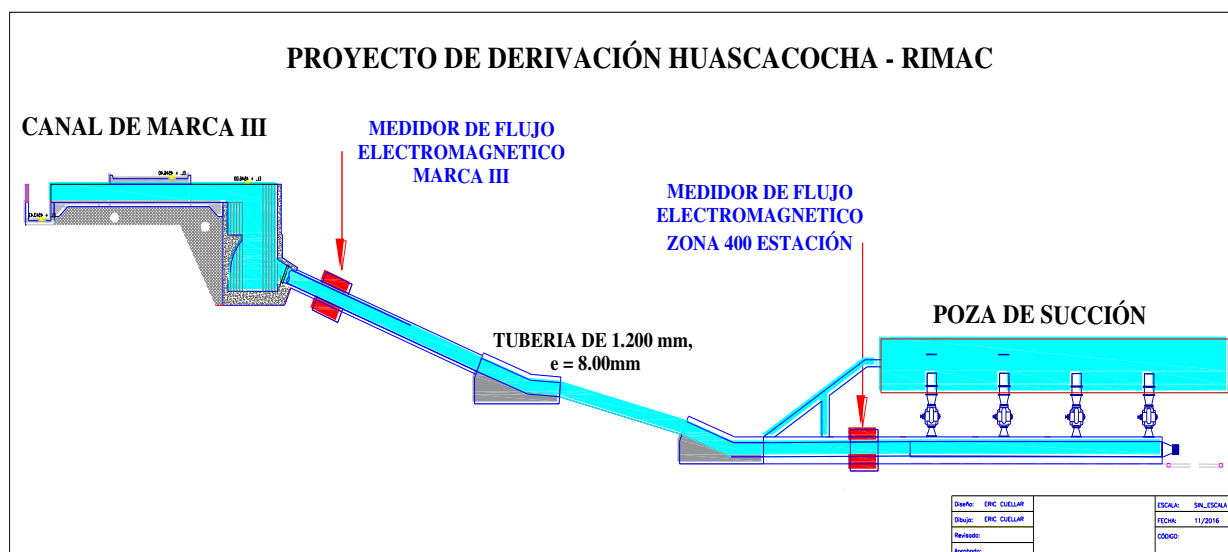


Ilustración 24: En la imagen se aprecia la ubicación de los medidores de flujo.

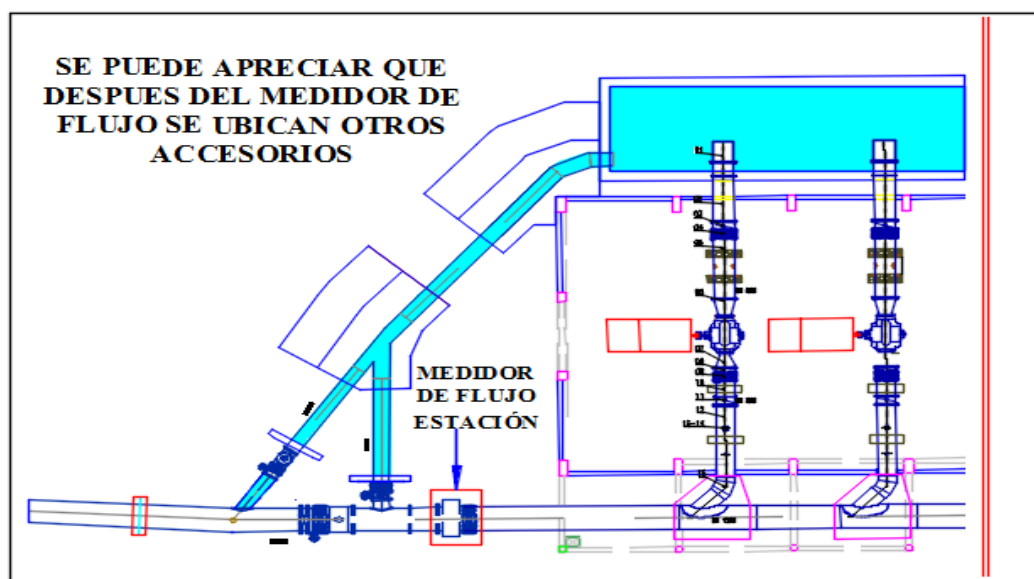


Ilustración 25: En la imagen se aprecia el detalle después del medidor de flujo zona 400.

Entonces según lo descrito y con las tablas que se muestran en las siguientes hojas, se puede ir recomendando una revisión exhaustiva en los accesorios debido a que los medidores de caudal pueden estar indicando pérdidas de carga en el sistema.

Tabla 14: Registro de flujómetros electromagnéticos (Epasa)

Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
09-05-2015 09:00:00	3.027173996	2.962459087	0.064714909
09-05-2015 19:00:00	2.892508507	2.836338758	0.056169748
09-05-2015 20:00:00	2.604207754	2.557058334	0.04714942
09-05-2015 21:00:00	2.946541548	2.892184019	0.054357529
09-05-2015 22:00:00	2.904655218	2.85682106	0.047834158
09-05-2015 23:00:00	2.89861989	2.842521667	0.056098223
10-05-2015 00:00:00	3.05509305	2.995410919	0.059682131
10-05-2015 01:00:00	2.945883751	2.906506777	0.039376974
10-05-2015 02:00:00	2.917244196	2.873002291	0.044241905
10-05-2015 03:00:00	2.605750561	2.581971169	0.023779392
10-05-2015 04:00:00	2.931912184	2.893422604	0.03848958
10-05-2015 05:00:00	2.886629581	2.852684021	0.03394556
10-05-2015 06:00:00	2.97133708	2.925723553	0.045613527
10-05-2015 07:00:00	2.922567606	2.89588213	0.026685476
10-05-2015 08:00:00	2.603634119	2.564359426	0.039274693
10-05-2015 09:00:00	2.998170376	2.95496273	0.043207645
10-05-2015 10:00:00	2.931280613	2.881213903	0.05006671
10-05-2015 11:00:00	2.596349716	2.560808182	0.035541534
10-05-2015 12:00:00	2.967231512	2.923018932	0.04421258
10-05-2015 13:00:00	2.844899416	2.800342083	0.044557333
Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
01-06-2015 00:00:00	2.995997667	2.951704264	0.044293404
02-06-2015 02:00:00	2.633052588	2.583339214	0.049713373
03-06-2015 02:00:00	2.99778223	2.952618837	0.045163393
03-06-2015 03:00:00	2.977499008	2.925882816	0.051616192
03-06-2015 04:00:00	2.955743313	2.928492546	0.027250767
03-06-2015 05:00:00	2.971774101	2.93316555	0.038608551
03-06-2015 06:00:00	2.990694523	2.953099012	0.03759551
03-06-2015 07:00:00	2.994186401	2.963937759	0.030248642
03-06-2015 08:00:00	3.002746105	2.961348772	0.041397333
03-06-2015 15:00:00	3.002160311	2.943364382	0.058795929
03-06-2015 16:00:00	2.986777067	2.936396837	0.05038023
03-06-2015 17:00:00	2.985153675	2.942941189	0.042212486
03-06-2015 18:00:00	2.980993032	2.934352636	0.046640396
03-06-2015 19:00:00	2.978234768	2.944437265	0.033797503
03-06-2015 20:00:00	3.049636364	2.998631477	0.051004887
04-06-2015 20:00:00	3.012701988	2.955658436	0.057043552
04-06-2015 21:00:00	3.017707586	2.960177898	0.057529688
04-06-2015 22:00:00	2.996966362	2.961335659	0.035630703
04-06-2015 23:00:00	3.000571728	2.953805208	0.04676652
05-06-2015 00:00:00	3.008123875	2.959651947	0.048471928

Tabla 15: Registro de flujómetros electromagnéticos (Epasa)

Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
01-07-2015 10:00:00	2.18854332	2.159160376	0.029382944
01-07-2015 11:00:00	2.155307293	2.13738513	0.017922163
01-07-2015 12:00:00	2.245047808	2.225373507	0.019674301
02-07-2015 08:00:00	2.87347579	2.83172369	0.0417521
02-07-2015 11:00:00	2.873905897	2.824671507	0.04923439
02-07-2015 12:00:00	2.873192549	2.818976402	0.054216146
02-07-2015 13:00:00	2.866121531	2.831515551	0.03460598
02-07-2015 14:00:00	2.876161575	2.827900887	0.048260689
02-07-2015 21:00:00	2.896310806	2.842486143	0.053824663
02-07-2015 23:00:00	2.880184174	2.836010218	0.044173956
03-07-2015 00:00:00	2.877223015	2.82678771	0.050435305
03-07-2015 01:00:00	2.885003805	2.829459429	0.055544376
03-07-2015 02:00:00	2.877511501	2.82923913	0.048272371
03-07-2015 05:00:00	2.877637148	2.832979202	0.044657946
03-07-2015 06:00:00	2.875571966	2.822892666	0.0526793
04-07-2015 04:00:00	2.858081102	2.809870243	0.048210859
04-07-2015 05:00:00	2.866329432	2.811600685	0.054728746
04-07-2015 06:00:00	2.864070892	2.811313868	0.052757025
04-07-2015 09:00:00	2.872498274	2.820839167	0.051659107
04-07-2015 10:00:00	2.867693663	2.817351341	0.050342321
Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
02-08-2015 02:00:00	2.582277775	2.560623646	0.021654129
02-08-2015 03:00:00	2.882336617	2.823457956	0.05887866
02-08-2015 04:00:00	2.855245829	2.803188562	0.052057266
02-08-2015 05:00:00	2.885129452	2.8265872	0.058542252
02-08-2015 06:00:00	2.852379084	2.803183794	0.04919529
02-08-2015 07:00:00	2.847828627	2.799632788	0.048195839
02-08-2015 08:00:00	2.842839956	2.782521963	0.060317993
02-08-2015 09:00:00	2.595551252	2.552650928	0.042900324
02-08-2015 11:00:00	2.860518456	2.804354906	0.056163549
02-08-2015 12:00:00	2.842351198	2.774189234	0.068161964
02-08-2015 13:00:00	2.844502211	2.769277573	0.075224638
02-08-2015 15:00:00	2.823312998	2.745980978	0.07733202
02-08-2015 17:00:00	2.82253933	2.766199589	0.056339741
02-08-2015 18:00:00	2.90612793	2.855553865	0.050574064
02-08-2015 19:00:00	2.862929344	2.81084156	0.052087784
02-08-2015 20:00:00	2.804819822	2.755290985	0.049528837
02-08-2015 21:00:00	2.82485795	2.769184828	0.055673122
02-08-2015 22:00:00	2.833822966	2.774541616	0.059281349
02-08-2015 23:00:00	2.845248222	2.781525135	0.063723087
03-08-2015 00:00:00	2.826410055	2.774052143	0.052357912

Tabla 16: Registro de flujómetros electromagnéticos (Epasa)

Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
01-09-2015 00:18:00	2.602342606	2.560830593	0.041512012
01-09-2015 00:19:00	2.626285076	2.606119871	0.020165205
01-09-2015 00:26:00	3.006732702	2.964673758	0.042058945
01-09-2015 00:27:00	3.001417637	2.973166466	0.028251171
01-09-2015 00:28:00	3.002872229	2.957770109	0.045102119
01-09-2015 00:29:00	2.998307943	2.962896824	0.035411119
01-09-2015 00:30:00	3.002486229	2.952455997	0.050030231
01-09-2015 00:31:00	2.991632462	2.943833359	0.047798872
01-09-2015 00:32:00	2.983352661	2.94261837	0.040734291
01-09-2015 00:33:00	2.906380892	2.847476482	0.058904409
28-09-2015 22:00:09	2.85789752	2.802317858	0.055579662
28-09-2015 22:00:12	2.857929945	2.801970959	0.055958986
28-09-2015 22:00:13	2.857940674	2.801855087	0.056085587
28-09-2015 22:00:14	2.857951403	2.801739454	0.056211948
28-09-2015 22:00:16	2.857973099	2.801508188	0.056464911
28-09-2015 22:00:19	2.858005524	2.801161051	0.056844473
28-09-2015 22:00:20	2.858016253	2.801045418	0.056970835
28-09-2015 22:00:21	2.858026981	2.800929785	0.057097197
28-09-2015 22:00:22	2.85803771	2.800814152	0.057223558
28-09-2015 22:00:23	2.858048677	2.80069828	0.057350397
Fecha	Estación	Marca III	Diferencia
01-10-2015 00:00:00	2.9517591	2.902454376	0.049304724
01-10-2015 00:10:00	2.975362062	2.896353006	0.079009056
01-10-2015 00:20:00	2.906527996	2.840206146	0.06632185
01-10-2015 00:30:00	2.898614168	2.828724861	0.069889307
01-10-2015 00:50:00	2.877321005	2.824120283	0.053200722
01-10-2015 01:00:00	2.856164694	2.792724848	0.063439846
01-10-2015 01:20:00	2.881733894	2.814670086	0.067063808
01-10-2015 01:30:00	2.869903564	2.810757875	0.059145689
01-10-2015 01:40:00	2.878953695	2.806105137	0.072848558
01-10-2015 03:40:00	2.850179911	2.789300203	0.060879707
01-10-2015 03:50:00	2.841873646	2.787790775	0.05408287
01-10-2015 04:10:00	2.858106136	2.785938978	0.072167158
01-10-2015 04:30:00	2.834089994	2.786095381	0.047994614
01-10-2015 04:40:00	2.827939987	2.773733854	0.054206133
01-10-2015 04:50:00	2.842830658	2.784222603	0.058608055
01-10-2015 05:00:00	2.823353291	2.75951767	0.063835621
01-10-2015 05:10:00	2.829342365	2.77084589	0.058496475
01-10-2015 05:20:00	2.825617552	2.766353607	0.059263945
01-10-2015 05:30:00	2.83061552	2.772615671	0.057999849
01-10-2015 05:40:00	2.84812212	2.777767897	0.070354223

3.3.4 Registros de Operación

A continuación, se muestra también el registro datos de operación, de la estación de bombeo Huascacocha, como son los meses de julio, setiembre y noviembre del 2015 y los meses de junio agosto y noviembre del 2016, escogidos al azar como muestra de datos.

En la tabla N° 14, Julio del 2015, se aprecia que para llegar a trasvasar un caudal promedio de más $2.8\text{m}^3/\text{s}$ como se aprecia en dicha tabla, tienen que estar en operación las tres unidades de bombeo según el diseño del proyecto, más la cuarta unidad de bombeo, en tres unidades a capacidad máxima y la cuarta en flujo regulado mediante el variador, también podemos apreciar en dicha tabla las presiones de succión, resaltando las presiones de succión de la unidad N° 4 que registra presiones negativas a un promedio de 100% del nivel de la poza de succión equivalente a 3.80m de altura.

Para la tabla N° 16, noviembre 2015 se puede apreciar la no presencia de presiones negativas, para un caudal de $2.55\text{m}^3/\text{s}$ a $2.8\text{m}^3/\text{s}$, para tres y cuatro unidades en operación respectivamente, es importante señalar que las mejoras implementadas por el presente trabajo se realizaron hasta el 31 de octubre del 2015, siendo el mes de noviembre del 2015 donde se empezaron observar los resultados, esto se ampliara más adelante en el capítulo de cálculos y resultados.

La interpretación es de igual manera para las siguientes tablas como son la N° 17, N° 18, N° 19.

Tabla 17: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Julio 2015. (Epasa)

FECHA	RPM					MARCA 3	SUCCIÓN				NIVEL POZA
	VFD	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4		BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
07/07/2015 00:00	1031.520	1037.039	1191.533	1192.172	1192.254	2.804	0.166	0.075	0.098	-0.009	103.233
07/07/2015 00:15	1034.000	1039.522	1193.481	1194.140	1194.216	2.837	0.162	0.070	0.096	-0.011	102.691
07/07/2015 00:30	1034.000	1039.510	1193.328	1194.039	1193.931	2.818	0.161	0.069	0.095	-0.013	102.259
07/07/2015 00:45	1034.000	1039.541	1194.164	1194.769	1194.923	2.828	0.159	0.067	0.093	-0.014	101.777
07/07/2015 01:00	1038.000	1197.228	1042.525	1196.276	1196.409	2.859	0.088	0.136	0.080	-0.024	97.926
07/07/2015 01:15	1038.000	1196.079	1042.648	1195.216	1195.383	2.852	0.090	0.136	0.077	-0.026	97.747
07/07/2015 01:30	1038.000	1195.540	1042.358	1194.380	1194.526	2.849	0.087	0.131	0.073	-0.027	96.747
07/07/2015 01:45	1029.000	1194.815	1033.329	1193.626	1193.955	2.798	0.085	0.135	0.068	-0.029	96.332
07/07/2015 02:00	1027.000	1193.067	1030.933	1192.211	1192.131	2.766	0.088	0.142	0.070	-0.030	97.054
07/07/2015 02:15	1027.000	1192.956	1031.032	1192.057	1191.930	2.772	0.093	0.144	0.073	-0.027	98.314
07/07/2015 02:30	1027.000	1192.653	1031.001	1191.931	1192.122	2.783	0.095	0.145	0.073	-0.026	99.114
07/07/2015 02:45	1027.000	1192.663	1031.128	1192.015	1192.067	2.781	0.097	0.149	0.076	-0.024	99.689
07/07/2015 03:00	1027.000	1193.544	1031.143	1193.037	1193.107	2.784	0.099	0.149	0.074	-0.023	100.223

Tabla 18: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Setiembre 2015. (Epasa)

FECHA	RPM					MARCA 3	SUCCIÓN				NIVEL POZA
	VFD	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4		BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
13/09/2015 22:00	1051.000	1057.200	1191.550	1192.330	1192.260	2.877	0.127	0.039	0.031	-0.005	100.859
13/09/2015 22:15	1051.000	1057.110	1192.430	1193.080	1193.350	2.874	0.127	0.039	0.031	-0.004	101.005
13/09/2015 22:30	1051.000	1057.350	1191.800	1192.230	1192.540	2.879	0.128	0.039	0.032	-0.004	101.110
13/09/2015 22:45	1051.000	1057.150	1190.780	1191.580	1191.680	2.878	0.130	0.039	0.032	-0.004	101.409
13/09/2015 23:00	1051.000	1057.080	1193.720	1194.290	1194.350	2.877	0.130	0.039	0.033	-0.003	101.767
13/09/2015 23:15	1051.000	1057.110	1192.160	1192.950	1193.000	2.874	0.131	0.039	0.035	-0.002	101.996
13/09/2015 23:30	1051.000	1057.320	1193.170	1193.660	1193.620	2.884	0.132	0.039	0.036	0.000	102.237
13/09/2015 23:45	1051.000	1057.080	1192.600	1193.190	1193.250	2.880	0.131	0.039	0.035	0.000	102.459
14/09/2015 00:00	1051.000	1057.190	1190.700	1191.150	1191.290	2.876	0.131	0.039	0.035	-0.002	102.456
14/09/2015 00:15	1051.000	1057.180	1191.830	1192.620	1192.550	2.882	0.131	0.039	0.034	-0.002	102.472
14/09/2015 00:30	1051.000	1057.130	1190.460	1191.440	1191.580	2.875	0.130	0.039	0.033	-0.002	102.230
14/09/2015 00:45	1051.000	1057.010	1192.970	1193.400	1193.470	2.874	0.129	0.039	0.029	-0.002	102.066

Tabla 19: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Noviembre 2015. (Epasa)

FECHA	RPM					MARCA 3	SUCCIÓN				NIVEL POZA
	VFD	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4		BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
11/03/2015 22:50	0.000	1193.720	0.000	1192.590	1192.650	2.515	0.044	0.181	0.099	0.152	103.082
11/03/2015 22:55	0.000	1193.970	0.000	1193.060	1193.110	2.514	0.044	0.180	0.098	0.150	102.719
11/03/2015 23:00	0.000	1194.750	0.000	1193.870	1193.810	2.524	0.045	0.181	0.098	0.152	102.964
11/03/2015 23:05	0.000	1191.620	0.000	1190.980	1190.730	2.520	0.047	0.183	0.101	0.154	103.583
11/03/2015 23:10	0.000	1193.400	0.000	1192.460	1192.360	2.516	0.048	0.185	0.104	0.157	104.238
11/03/2015 23:15	0.000	1194.200	0.000	1193.050	1193.080	2.524	0.049	0.189	0.108	0.160	105.094
11/03/2015 23:20	0.000	1194.810	0.000	1193.950	1193.830	2.519	0.048	0.193	0.111	0.164	106.275
11/03/2015 23:25	841.854	1194.510	859.805	1193.550	1193.340	2.596	0.052	0.192	0.114	0.168	107.260
11/03/2015 23:30	1027.000	1194.760	1030.830	1193.970	1194.060	2.827	0.043	0.162	0.104	0.157	104.538
11/03/2015 23:35	1027.000	1193.570	1030.760	1192.810	1192.620	2.823	0.040	0.158	0.101	0.153	103.421
11/03/2015 23:40	1027.000	1194.310	1030.780	1193.190	1193.210	2.809	0.038	0.153	0.098	0.151	102.866
11/03/2015 23:45	1027.000	1194.370	1030.730	1193.590	1193.620	2.805	0.037	0.153	0.096	0.149	102.286
11/03/2015 23:50	1027.000	1194.330	1030.780	1193.590	1193.520	2.813	0.035	0.154	0.094	0.148	101.862

Tabla 20: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Junio 2016. (Epasa)

FECHA	RPM					MARCA 3	SUCCIÓN				NIVEL POZA
	VFD	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4		BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
06/05/2016 22:00	0.000	1192.748	1190.971	1192.178	1191.859	3.380	0.131	0.143	0.129	0.159	104.301
06/05/2016 22:05	0.000	1193.930	1192.126	1192.979	1192.641	3.372	0.107	0.118	0.104	0.134	97.266
06/05/2016 22:10	0.000	1193.819	1192.281	1192.913	1192.744	3.359	0.087	0.096	0.084	0.112	91.427
06/05/2016 22:55	0.000	1192.462	1190.756	1191.656	1080.629	3.222	0.147	0.160	0.145	0.180	108.883
06/05/2016 22:55	0.000	1192.462	1190.756	1191.656	1080.629	3.222	0.147	0.160	0.145	0.180	108.883
06/05/2016 23:00	0.000	1194.245	1192.348	1193.362	1192.977	3.377	0.115	0.127	0.113	0.144	99.715
06/05/2016 23:05	0.000	1194.201	1192.378	1193.288	1192.893	3.373	0.094	0.103	0.092	0.121	93.654
06/05/2016 23:10	0.000	1193.308	1191.558	1192.327	121.609	2.517	0.075	0.084	0.073	0.130	87.579
06/06/2016 00:00	0.000	1194.394	1192.664	1193.548	151.989	2.582	0.149	0.160	0.147	0.205	109.030
06/06/2016 00:05	0.000	1192.592	1190.844	1191.726	1191.743	3.375	0.118	0.128	0.115	0.146	100.600
06/06/2016 02:10	0.000	1194.848	1193.074	1193.856	1193.844	3.394	0.121	0.128	0.115	0.145	100.893
06/06/2016 02:15	0.000	1192.196	1190.603	1191.342	1191.296	3.364	0.100	0.106	0.094	0.123	94.697
06/06/2016 02:20	0.000	587.710	1192.659	1193.379	1193.162	2.896	0.106	0.083	0.072	0.101	88.192

Tabla 21: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Agosto 2016. (Epasa)

FECHA	RPM					MARCA 3	SUCCIÓN				NIVEL POZA
	VFD	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4		BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
8/01/2016 16:05	0	1193.65	1191.99	1192.66	0	2.39925	-0.081	0.01732	0.10486	0.16939	99.06803
8/01/2016 16:10	0	1193.05	1191.06	1192.09	0	2.41759	-0.0749	0.02896	0.11667	0.18194	102.4906
8/01/2016 16:15	0	1193.15	1191.03	1191.98	0	2.42954	-0.0699	0.03629	0.12474	0.19003	104.7601
8/01/2016 16:20	0	1193.9	1191.87	1192.42	0	2.43312	-0.0653	0.04211	0.13028	0.19614	106.5851
8/01/2016 16:25	0	1193.17	1191.34	1192.14	0	2.442	-0.062	0.04714	0.13555	0.20102	107.8537
06-21-2016 11:45:00	0	1193.5	1191.93	1192.7	0	2.54985	0.11377	0.11653	0.12094	0.15595	95.18751
06-21-2016 11:50:00	0	1194.13	1192.4	1193.09	0	2.55708	0.12615	0.12873	0.13262	0.16804	98.64694
06-21-2016 11:55:00	0	1194.32	1192.6	1193.24	0	2.56921	0.13559	0.13795	0.14116	0.17757	101.4843
06-21-2016 12:00:00	0	1192.76	1190.93	1191.98	0	2.56751	0.14294	0.14519	0.14618	0.18474	103.588
06-21-2016 12:05:00	0	1193.47	1191.73	1192.56	0	2.57162	0.1477	0.15148	0.15217	0.19041	105.2101
06-21-2016 12:10:00	0	1194.55	1193.09	1193.84	0	2.57731	0.15294	0.15553	0.15667	0.19486	106.5245
06-21-2016 12:15:00	0	1194.25	1192.38	1193.09	0	2.57725	0.15611	0.15935	0.15848	0.19876	107.609
06-21-2016 12:20:00	0	1194.09	1192.31	1192.92	0	2.57493	0.16095	0.16293	0.16305	0.20255	108.7192

Tabla 22: Datos de operación, Estación de Bombeo Huascacocha, Registro de parámetros de Operación Noviembre 2016. (Epasa)

FECHA	RPM					MARCA 3	SUCCIÓN				NIVEL POZA
	VFD	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4		BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
11/01/2016 09:10	0	0	1191.37	1192.14	1191.95	2.52678	0.15019	0.09726	0.10765	0.13687	96.00859
11/01/2016 09:15	0	0	1191.37	1192.17	1191.78	2.53407	0.16221	0.1089	0.11943	0.14915	99.35102
11/01/2016 09:20	0	0	1191.54	1192.34	1192.14	2.54775	0.17134	0.11778	0.12672	0.15745	101.8136
11/01/2016 09:25	0	0	1191.19	1191.95	1191.56	2.55094	0.17821	0.12491	0.13295	0.16444	103.7931
11/01/2016 09:30	0	0	1190.75	1191.67	1191.2	2.55039	0.18414	0.13099	0.13823	0.16975	105.4844
11/01/2016 09:35	0	0	1191.44	1192.28	1191.93	2.55497	0.18889	0.1354	0.14372	0.17443	106.841
11/01/2016 09:40	0	0	1191.89	1192.67	1192.45	2.55603	0.19251	0.13887	0.14792	0.17851	107.8172
11/01/2016 13:25	0	0	1192.18	1193.04	1192.62	2.52451	0.14561	0.09221	0.09348	0.13162	95.44677
11/01/2016 13:30	0	0	1191.39	1192.35	1192	2.52764	0.1581	0.10461	0.10526	0.14332	99.00428
11/01/2016 13:35	0	0	1191.64	1192.54	1192.28	2.53415	0.16737	0.11393	0.11428	0.15245	101.5515
11/01/2016 13:40	0	0	1191.98	1192.87	1192.34	2.54186	0.1745	0.12013	0.12079	0.16024	103.514
11/01/2016 13:45	0	0	1190.51	1191.5	1191.18	2.54399	0.18074	0.12645	0.12705	0.16611	105.2895

3.4 Revisión de tuberías y accesorios en la estación de bombeo.

La revisión estará enmarcada en función a buscar o identificar perdidas de carga localizadas. Para ello mostraremos la descripción de accesorios con la que se cuenta en la succión, descarga y línea de impulsión.

Succión:

1. Filtro DN 900 mm (Ø36")
2. Tubería DN 900 mm (Ø36")
3. Válvula mariposa de accionamiento eléctrico DN 900 mm.
4. Junta de desmontaje autoportante DN 900 mm.
5. Tubería DN 900 mm (Ø36").

Descarga

6. Reducción (Ø36") x (Ø24")
7. Reducción (Ø32") x (Ø18")
8. Válvula de retención Ø800 mm
9. Junta de desmontaje autoportante DN 800 mm
10. Tubería DN 800mm (Ø32")
11. Válvula mariposa de accionamiento eléctrico DN 800 mm.
12. Tubería DN 800mm (Ø32")
13. Válvula de compuerta DN 100mm (Ø4")
14. Válvula de aire triple función DN 100 mm (Ø4").
15. Codo 45° Ø32" espesor 3/8"

Línea de impulsión

16. Unión autoportante DN 1200 mm ISO PN 16
17. Medidor de caudal electromagnético DN 1200 mm Bridas ISO PN16
18. TE lateral Ø48" x Ø32" espesor 3/8"
19. TE prefabricada de acero DN 1200 x 700 mm, Bridas ISO PN16
20. Válvula mariposa de accionamiento manual DN 600 mm
21. YEE Prefabricada de acero DN 1200 x 700 mm, Bridas ISO PN16
22. Junta de desmontaje autoportante DN 600mm.
23. Brida ciega y reducción de Ø 1200 x Ø 600.
24. Válvula mariposa con actuador eléctrico DN 600 mm ISO PN16.
25. Válvula anticipadora de onda 600 mm ISO PN16
26. Válvula mariposa con actuador eléctrico DN 1200 mm ISO PN16.
27. Válvula mariposa con actuador eléctrico DN 700 mm ISO PN16.
28. Unión autoportante DN 700 mm ISO PN16.
29. Codo prefabricado de acero 45° x DN 700 mm, Bridas ISO PN16.
30. Codo prefabricado de acero 90° x DN 700 mm, Bridas ISO PN16. (Cuellar)

A continuación, se muestran imágenes de los accesorios en el sistema de bombeo.



Ilustración 26: Válvula mariposa de accionamiento eléctrico DN 900 mm (Epasa)



Ilustración 27: Reducción (Ø36") x (Ø24"); Reducción (Ø32") x (Ø18") (Epasa)



Ilustración 28: Válvula de retención Ø800 mm; Válvula de DN 100 mm (Ø4"). (Epasa)

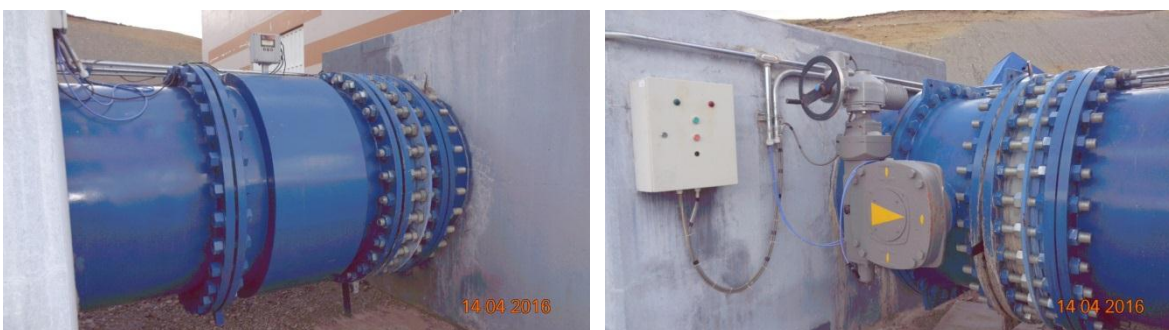


Ilustración 29: Medidor de caudal electromagnético DN 1200 mm Bridas ISO PN16; Válvula mariposa con actuador eléctrico DN 1200 mm ISO PN16. (Epasa)



Ilustración 30: Válvula mariposa de accionamiento manual DN 600 mm; Válvula anticipadora de onda 600 mm ISO PN16 (Epasa)



Ilustración 31: Se muestra la bifurcación para la recirculación y el sistema de impulsión. (Epasa)



Ilustración 32: Medidor de caudal electromagnético DN 1200 mm Bridas ISO PN16 en el punto de llegada y vista de tubería de impulsión. (Epasa)

En la inspección visual se observa que los accesorios mencionados están en buen estado, ya sea en la succión, descarga y línea de impulsión. Se concluye también que se debe realizar una exhaustiva inspección visual muy aparte del cálculo de pérdidas de carga localizadas, para identificar a posibles pérdidas de carga en la impulsión del sistema. Estas Inspecciones visuales serán acompañadas de registros fotográficos de todos los accesorios mencionados.

Con la descripción de los accesorios mencionados se procederá a realizar los cálculos en la parte del capítulo IV de cálculos y resultados.

3.5 Análisis del punto de operación de las unidades de bombeo y del sistema.

Analizar el punto de operación de cada unidad de bombeo y consecuentemente el punto de operación del sistema, conllevarán a dar las condiciones necesarias para interpretar el funcionamiento de estas, y plantear las mejoras para un buen rendimiento hidráulico, esto quiere decir que las pruebas de operación serán realizadas estrictamente unidad por unidad, para luego analizar el punto de operación del sistema, ya que como se muestra en la imagen tenemos un sistema de bombeo en paralelo.

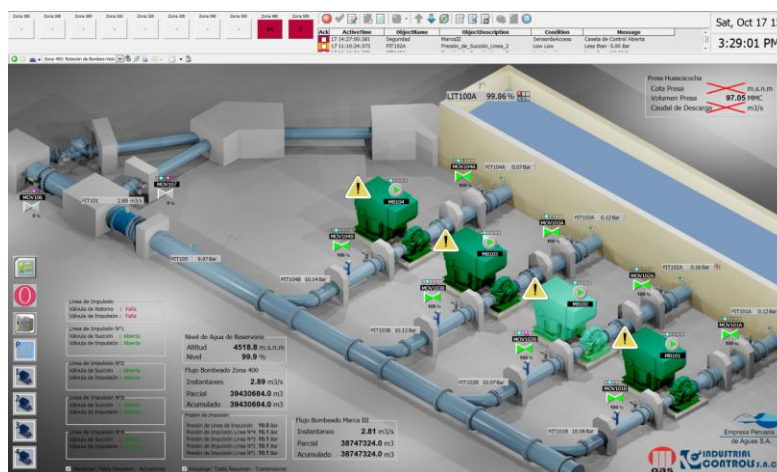


Ilustración 33: Sistema de bombeo en paralelo. (Epasa)

Para el análisis del punto de operación de las unidades de bombeo y del sistema se ha de utilizar los datos obtenidos de las pruebas realizadas. Ya sea para el rendimiento de cada unidad o para el rendimiento del sistema en cuyos casos resultara de analizar los parámetros obtenidos de las pruebas mencionadas.

Las condiciones de operación de donde se obtuvieron los resultados de las pruebas están en función a los siguientes parámetros: Caudal, presión de succión, presión de descarga, nivel de poza de succión, etc. Para estos parámetros mencionados cabe señalar que las lecturas de éstas vienen dadas en condiciones de una operación normal en la que se encontró a la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha-Rímac.

A continuación, se describirá el modo de operación con la que venía trabajando en la estación de bombeo.

Llamaremos condiciones de operación (2013-2015), de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha-Rímac al modo de operación con la que se trabajaba desde el inicio de las operaciones de la estación de bombeo.

Con las condiciones de operación (2013-2015), se calculará el punto de operación de las unidades de bombeo y las del sistema ya que estas son con las que se venían trabajando hasta octubre del 2015, en donde se pusieron en marcha las mejoras para obtener un buen rendimiento de la planta de trasvase en el presente trabajo para la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha-Rímac.

3.5.1 Sobre el modo de operación (2013-2015).

En esta etapa, hasta antes de noviembre del 2015, se venía operando como se describe a continuación:

a) Poza de succión trabajando a un nivel máximo de 103% y un mínimo de 85%.

En los registros de operación se aprecia que el nivel máximo de la poza de succión era de hasta 103% equivalentes a 3.92m de altura, en donde luego se ponía en marcha la cuarta unidad de bombeo y poder impulsar un caudal promedio de 2.8m³/s a 3.2m³/s y así disminuir el tirante de la poza a un 85% equivalente a 3.23m, para luego proceder apagar esta última unidad de bombeo, y esperar que la poza de succión vuelva a recuperar un nivel de 103%, y luego volver a iniciar el ciclo de trabajo de impulsión, registrando un intervalo promedio de 45min hasta una hora y media entre en encendido y apagado de la cuarta unidad de bombeo, esto en función al caudal que ingresa a la poza de succión desde el sistema de conducción.(referencia registro de operación 2014-2015).

A continuación, se muestra la relación de configuración del porcentaje de la poza (%) equivalente en metros de altura.

Tabla 23: Relación de porcentaje (%).con respecto a su altura en metros-poza de succión.

Nivel en %		Altura de poza en m	Cota del tirante en msnm
Nivel de referencia:		4442.21	
#	Nivel Máximo	4.40	4446.61
7	105.00%	3.99	4446.20
8	104.00%	3.95	4446.16
9	103.00%	3.92	4446.13
10	102.00%	3.88	4446.09
11	101.00%	3.84	4446.05
12	100.00%	3.80	4446.01
13	95.00%	3.61	4445.82
14	90.00%	3.42	4445.63
15	85.00%	3.23	4445.44

Se muestra un nivel de hasta 105%, que en términos prácticos no se llegaban a registrar estos niveles en la operación, ya que, para dicho nivel, el agua empezaba a rebalsar por el vertedero lateral, por tal motivo los niveles promedios de operación del nivel de la poza de succión eran de 103%.

Es por eso que, con el presente trabajo de titulación, de mejorar el rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha-Rímac, se recomienda y considere un procedimiento de sistema de trabajo óptimo para las unidades de bombeo como se plantearan en las conclusiones y o recomendaciones.

b) Presiones negativas en la succión.

En los registros de los datos extraídos se muestra que en la succión de las unidades de bombeo se llega a visualizar números negativos, esto quiere decir que se llega a operar en presiones negativas. También es necesario señalar que, desde la sala de control, se debería evitar el llegar de operar en presiones negativas, considerando un trasvase de agua limpia, para esto se debería implementar mejoras en la succión de cada canastilla de succión, y así evitar la obstrucción, ya sea por solidos sedimentados o las algas, también con un plan de mantenimiento óptimo. Con el fin de conseguir mejores parámetros de operación, ya que un sistema forzado hace que esto se reflejen en el consumo de energía de los motores

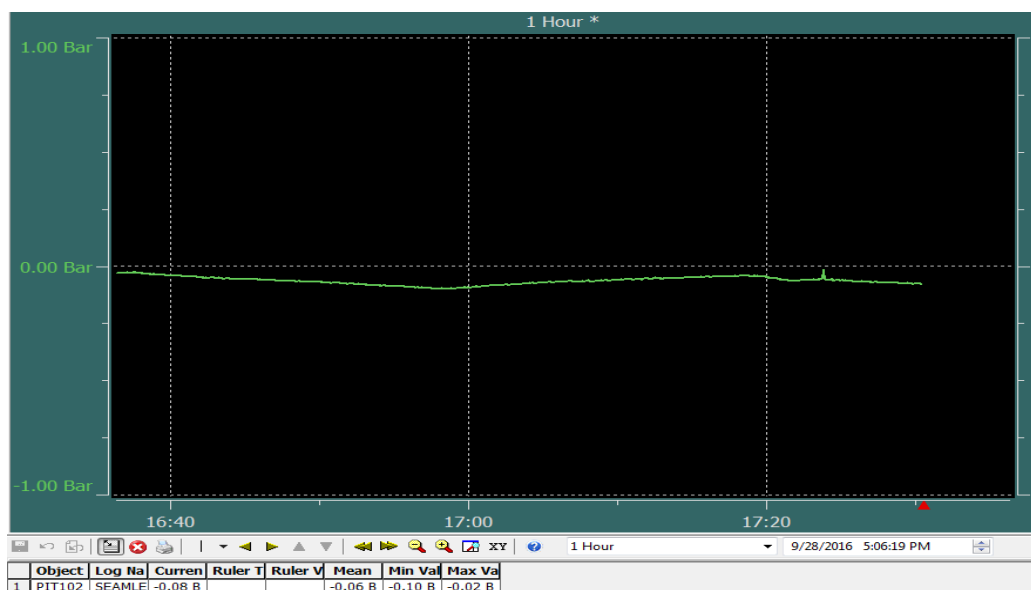


Ilustración 34: En la siguiente imagen se aprecia que la Unidad N° 2 trabaja en presión negativa de hasta -0.08 Bar (fecha de registro 28/09/2016). (Epasa)

c) Modo de operación (Subjetivo a cada operador):

En esta parte se verifico mediante los controles diarios de operación, que los operadores maniobran el encendido y apagado de las unidades de bombeo función al nivel de la poza de succión, es decir con un máximo de 103% equivalente a 3.92m de tirante de agua, y a un nivel mínimo fluctuante entre el 85% y el 90% equivalentes a 3.23m 3.42m respectivamente, encendiendo y apagando la cuarta unidad de bombeo en un ciclo repetitivo.

Las observaciones a este método de trabajo es el continuo cambio de nivel de energía que se tiene en la poza de succión, sumado al problema de la obstrucción con algas en las canastillas, llegando forzar el trabajo de las unidades de bombeo, para las mismas condiciones, y por ende registrar un aumento de consumo de energía para la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac.

En esta parte del modo de operación con la que se venía trabajando se puede concluir lo siguiente:

Para el nivel de la poza: Se puede mejorar la capacidad de almacenamiento de la poza de succión, así poder mantener una mayor línea de energía constante. (Se ampliará en la parte de cálculos y resultados).

Para el sistema de succión: A pesar de tener un sistema de impulsión de succión positiva, la estación de bombeo llega a trabajar en presión negativa en la succión, entonces se buscará conseguir un cálculo en la succión en base a las normas del instituto de hidráulica, como referencia para el diseño.

Operadores:

Luego en el método de operación descrito se puede apreciar que las unidades de bombeo llegan a trabajar en presiones negativas, esto debido a la obstrucción de algas en la poza de succión y también a la falta de limpieza de dicha poza, ya que no se cuenta con una plataforma adecuada para poder realizar dicha limpieza de las canastillas de succión. Método de operación ejecutado por los operadores.

En el este ciclo repetitivo de encendido y apagado de la cuarta unidad es necesario indicar que dicho modo de operación conlleva a los siguientes riesgos como, por ejemplo:

- Con cuatro unidades de bombeo en marcha, succionaran el agua de la poza hasta lo más mínimo poniendo así en riesgo dichas unidades ya que succionaran aire y por ende el fenómeno de cavitación y sus consecuencias ya conocidas.
- Con tres unidades de bombeo en marcha, y no percatarse del tiempo indicado para repetir el ciclo y encender la cuarta unidad conlleva al riesgo de que grandes cantidades de volúmenes de agua se pierdan por rebose través del vertedero lateral que tenemos en la poza de succión y que a la vez esta empieza a elevar el tirante aguas arriba por el canal de conducción. (Remanso).

Se mejorará la forma de operar la estación de bombeo, y así conseguir un rendimiento óptimo para el sistema, esto según las instrucciones y recomendaciones que se plantearan.

Según lo analizado, antes de poner en marcha la implementación de la tesis, se venía trabajando bajo el criterio mencionado, en donde podemos concluir que se puede encontrar un punto de operación óptimo para el sistema, y poder reflejarlo en la parte económica del proyecto.

3.5.2 Registro de Operación 2015.

Tabla 24: Promedio de registro de operación 2015. (Epasa)

ítem	PROMEDIO AÑO 2015				ítem	PROMEDIO AÑO 2015			
	Mes	P. IMPULSIÓN		Caudal		Mes	P. IMPULSIÓN		Caudal
		Bar	m.c.a	m³/s			Bar	m.c.a	m³/s
1	Noviembre	10.0093	102.0949	3.3186	26	Octubre	9.6441	98.3696	2.8133
2	Septiembre	9.6365	98.2928	3.2642	27	Septiembre	9.6277	98.2029	2.8065
3	Mayo	9.6761	98.6961	3.0544	28	Noviembre	10.0347	102.3539	2.8044
4	Noviembre	10.0175	102.1787	3.0228	29	Mayo	9.6781	98.7167	2.7978
5	Octubre	9.6178	98.1015	3.0140	30	Septiembre	9.6508	98.4378	2.7783
6	Julio	9.6328	98.2549	2.9977	31	Julio	9.6125	98.0476	2.7732
7	Junio	9.6346	98.2733	2.9631	32	Octubre	9.6265	98.1901	2.7730
8	Mayo	9.6764	98.6991	2.9553	33	Agosto	9.6362	98.2892	2.7617
9	Septiembre	9.6521	98.4519	2.9463	34	Noviembre	10.0544	102.5549	2.7579
10	Agosto	9.6246	98.1705	2.9376	35	Noviembre	10.0631	102.6440	2.7468
11	Noviembre	10.0354	102.3615	2.9273	36	Junio	9.6612	98.5441	2.6137
12	Octubre	9.4681	96.5746	2.9169	37	Mayo	9.6838	98.7752	2.5827
13	Agosto	9.6092	98.0137	2.9163	38	Noviembre	10.0208	102.2119	2.5550
14	Septiembre	9.6440	98.3691	2.9148	39	Mayo	9.6735	98.6698	2.5437
15	Mayo	9.6777	98.7130	2.9039	40	Junio	9.6635	98.5675	2.5326
16	Septiembre	9.6349	98.2755	2.8865	41	Octubre	9.6406	98.3342	2.5093
17	Noviembre	10.0289	102.2946	2.8833	42	Octubre	9.6218	98.1424	2.4522
18	Agosto	9.6270	98.1959	2.8797	43	Noviembre	10.0351	102.3581	2.4447
19	Julio	9.6061	97.9821	2.8627	44	Junio	9.6691	98.6247	2.4109
20	Mayo	9.6697	98.6307	2.8524	45	Noviembre	10.0513	102.5237	2.4022
21	Septiembre	9.6501	98.4314	2.8511	46	Noviembre	10.0412	102.4200	2.3506
22	Junio	9.6387	98.3145	2.8499	47	Noviembre	10.0540	102.5513	2.2958
23	Noviembre	10.0063	102.0640	2.8429	48	Julio	9.6265	98.1900	2.1863
24	Julio	9.6340	98.2667	2.8339	49	Noviembre	10.0795	102.8113	2.1253
25	Noviembre	10.0484	102.4937	2.8278	50	Noviembre	10.0245	102.2502	1.7095
					51	Noviembre	11.0245	112.4502	0.0000

Entonces para el cálculo del rendimiento de cada unidad procederemos a realizarlo mediante la ecuación de la energía tomando como referencia, la ubicación de los manómetros en la succión y en la descarga según la estación de bombeo del proyecto derivación Huascacocha – Rímac. (con el mismo cálculo se obtendrá los resultados para la temporada 2016).

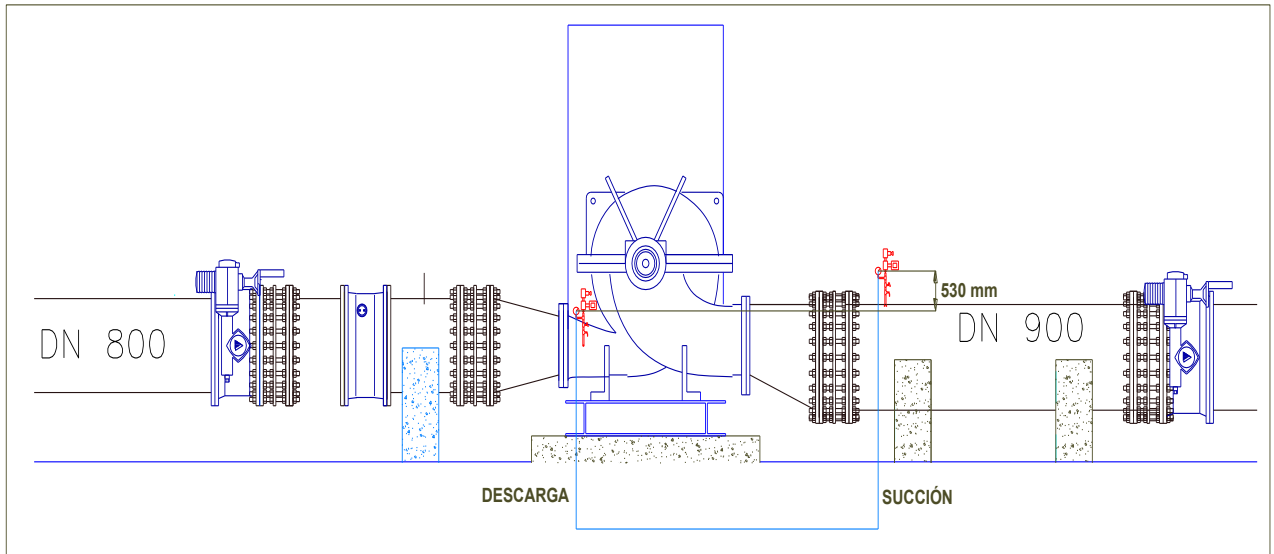


Ilustración 35: Detalle de la succión y descarga para cada unidad de bombeo.

Se tiene:

Diferencia geométrica de Manómetros es de 530 mm.

Diámetro en la succión 0.9m y en la descarga es de 0.417m



Para el cálculo de la altura de cada unidad de bombeo se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_{bomba} = (P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} - h_m \quad \nearrow 0$$

$$H_{bomba} = (P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \Delta H$$

A continuación, se presente los resultados de rendimiento para cada unidad realizadas en una hoja de cálculo.

3.5.3. Rendimiento 2015.

Se muestra los resultados en las tablas de rendimiento en la parte de los anexos.

3.6 Análisis de la calidad del agua del sistema de trasvase

La evaluación de la calidad del agua, se realizaron en 3 puntos en la represa y dos puntos en el sistema de conducción, éstas fueron analizados mediante un laboratorio certificado y su posterior interpretación comparativa de los resultados en función a los que exige la ley. A continuación, las características del agua trasvasada.

Dichas evaluaciones se realizan bimensual y trimestralmente como exige el contrato.

Tabla 25: Calidad Del agua: poblacional 1. (Epasa)

Parámetros 2016	Unidades	Estación		
		AS-01	AS-02	AS-03
Aceites y grasas (MEH).	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5
Cianuro WAD	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005
Cianuro libre	mg/L	<0.004	<0.004	<0.004
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	<2.00	<2.00	<2.00
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO20)	mg/L	4.84	5.63	6.55
Hidrocarburos totales de petróleo(TPH)	mg/L	<0.04	<0.04	<0.04
Rango (C10-C40)				
Turbiedad	NTU	1.2	1	1.6
Conductividad (medición en campo)	uS/cm	165.8	154.8	171.6
Oxígeno disuelto OD (medición en campo)	O2 mg/L	6.41	6.66	6.53
PH (medición en campo)	Unid. PH	7.86	7.98	7.93
Temperatura (medición en campo)	° C	11.6	11.5	12.3
Numeración de coliformes fecales	NMP/100ml	7.8	4.5	<1.8
Numeración de coliformes totales	NMP/100ml	11	7.8	2
Arsénico (As)	mg/L	0.017	0.014	0.015
Cadmio (Cd)	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cobre (Cu)	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Hierro (Fe)	mg/L	0.126	0.089	0.089
Mercurio (Hg)	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0605	0.0388	0.0493
Plomo (Pb)	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Zinc (Zn)	mg/L	<0.002	0.002	<0.002

Laboratorio SAG (Empresa Peruana de Aguas).

Leyenda:

AS-01: A 2000 m del eje de la presa en dirección noreste a 4496 msnm

AS-02: A 4000 m del eje de la presa a 4498 msnm.

AS-03: A 6000 m del eje de la presa a 4484 msnm

Se observa que las concentraciones de Aceites y grasas, Cianuro libre, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Oxígeno Disuelto (OD), PH, Numeración de Coliformes Fecales, Numeración de Coliformes Totales, Cadmio(Cd), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Zinc (Zn), éstos dentro de lo permitido en los Estándares de Calidad Ambiental Establecidos mediante D.S N° 002-2008-MINAM. También Cianuro WAD, Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO20), Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), Rango (C10-C40), Turbiedad, Conductividad, Temperatura, Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), estos últimos no solicitados mediante D.S N° 002-2008-MINAM.

Tabla 26: Calidad del agua lagunas y lagos 2. (Epasa)

Parámetros 2016	Unidades	Estación		ECA
		E-04	E-05	AS-03
Aceites y grasas (MEH).	mg/L	<0.5	<0.5	5.0
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	<2.00	<2.00	5.0
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO20)	mg/L	4.68	5.28	-
Hidrocarburos totales de petróleo (C10-C40)	mg/L	<0.01	<0.01	0.5
Conductividad (medición en campo)	uS/cm	157.9	154.6	1000
Oxígeno disuelto OD (medición en campo)	O2 mg/L	6.4	6.6	≥5
PH (medición en campo)	Unid. PH	7.91	8.25	6.5-9.0
Temperatura (medición en campo)	° C	11.4	13.7	TRIÁN3
Turbiedad (medición en campo)	NTU	0.98	0.97	-
Numeración de coliformes fecales	NMP/100ml	<1.8	<1.8	-
Numeración de coliformes totales o termotolerantes	NMP/100ml	<1.8	<1.8	1000

Laboratorio SAG (Empresa Peruana de Aguas).

Leyenda:

E-04: Salida de la presa a 30 m, inicio del canal. Altitud 4506 msnm.

E-05: En la progresiva. km 13 + 000, Marca III, a 20 m de la entrada de la cámara de bombeo. Altitud 4567 msnm.

Los parámetros de campo en las estaciones “E-04 y E-05” registraron valores que cumplen con el ECA para agua Categoría 4 — El (lagos y lagunas). La conductividad en un rango de 157.9 a 154.6 pS/cm, concentraciones de oxígeno disuelto entre 6.4 a 6.6 mg/L, pH entre 7.91 y 8.25 y temperaturas entre 11.4 y 13.7°C. Los análisis de laboratorio provenientes de las estaciones “E-04 y E-05” registraron concentraciones de Aceites y grasas, Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5), Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10 - C40) y Coliformes Fecales, que se encuentran por debajo del ECA para agua. Categoría 4— El (lagos y lagunas). (Epasa)

De acuerdo al decreto supremo N° 002-2008-MINAM, donde se aprueban los estándares de calidad ambiental (ECA), y según lo mostrado podemos afirmar que los resultados del análisis de la calidad del agua, se encuentran por debajo del reglamento expresado. Entonces podemos concluir que dicha agua descargada, conducida, e impulsada (trasvase), al sistema Marca III, no ha sido alterada en sus propiedades en el transcurso de lo que compete la operación de la estación. Sobre la implicancia en los equipos de impulsión, y luego de los resultados expresados, también concluiremos que dichas propiedades del agua trasvasada, no causan ningún daño, físico-químico.

A continuación, se muestran las tablas mencionadas del decreto supremo N° 002-2008 MINAM. Donde se podrá realizar un comparativo, y concluir una vez más que los valores del análisis de calidad del agua, están por debajo de lo dispuesto en dicho decreto supremo.

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

Tabla 27: Estándares de calidad ambiental MINAM- Lagunas y lagos. Físicos y químicos.

Parámetro	Unidad	Lagunas y Lagos
FÍSICOS Y QUÍMICOS		
Aceites y grasas (MEH).	mg/L	Ausencia de película visible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).	mg/L	<5
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02
Temperatura	Celsius	
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5
pH.	Unidad.	6,5-8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25

(MINAM, 2008)

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

Tabla 28: Estándares de calidad ambiental MINAM- Lagunas y lagos. Inorgánicos.

Parámetro	Unidad	Lagunas y Lagos
INORGÁNICOS		
Arsénico	mg/L	0,01
Bario	mg/L	0,7
Cadmio	mg/L	0,004
Cianuro Libre	mg/L	0,022
Clorofila A	mg/L	10
Cobre	mg/L	0,02
Cromo VI	mg/L	0,05
Fenoles	mg/L	0,001
Fosfatos Total	mg/L	0,4
Hidrocarburos de petróleo Aromáticos Totales		Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001
Nitratos (N-N03)	mg/L	5

(MINAM, 2008)

También se muestra las tablas de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Categoría 1: Poblacional. Establecido también en el decreto supremo N° 002-2008 MINAM. Donde establece los valores del ECA, a nivel poblacional.

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL

Tabla 29: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Físicos y químicos

Parámetro	Unidad	Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

FÍSICOS Y QUÍMICOS

Aceites y grasas (MEH).	mg/L	1	1,00	1,00
Cianuro libre	mg/L	0,005	0,022	0,022
Cianuro WAD	mg/L	0,08	0,08	0,08
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color	Color verdadero escala pt/Co	15	100	200
Conductividad	uS/cm	1500	1600	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30
Dureza	mg/L	500	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1
Fluoruros	mg/L	1	**	**
Fosforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**
Nitratos	mg/L N	10	10	10
Nitritos	mg/L N	1	1	1
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7
Olor		Aceptable	**	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=6	>=5	>=4
pH.	unidad .	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

** Se entenderá que, para la categoría, el parámetro no es relevante.

UNT: Unidad Nefelométrica Turbiedad. (MINAM, 2008)

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL

Tabla 30: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Inorgánicos.

Parámetro	Unidad	Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

INORGÁNICOS

Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	1
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5

** Se entenderá que, para la categoría, el parámetro no es relevante, salvo caso específico que la Autoridad competente determine. (MINAM, 2008)

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL

Tabla 31: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Microbiológico.

Parámetro	Unidad	Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

MICROBIOLÓGICO

Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2000	20000
Coliformes Totales (35-37 °C)	NMP/100 mL	50	3000	50000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0	
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0	
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0	
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

NMP/100 mL Número más probable en 100 mL (MINAM, 2008)

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL

Tabla 32: Estándares de calidad ambiental MINAM- Poblacional. Orgánicos.

Parámetro	Unidad	Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

ORGÁNICOS

I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
Hidrocarburos totales de petróleo, HTTP.	mg/L	0,05	0,2	0,2

(MINAM, 2008)

Capítulo IV

Cálculos y Resultados

En esta parte del presente trabajo se realizarán los cálculos y se mostrarán los resultados de las condiciones de succión, impulsión, por longitud de tubería, accesorios y finalmente para el punto de operación del sistema.

La estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac fue diseñada para impulsar un caudal de 2.631 m³/s. De esta manera con dicho caudal poder llegar a la meta diaria establecida de 227150 m³ y a la mensual según corresponda de 30 ó 31 días calendarios.

Cálculos de pérdidas de carga serán, en función al caudal trasvasado en la operación diaria de la estación de bombeo.

De la ecuación de Hazen - Williams el cual utilizaremos para los cálculos del presente trabajo.

En función al radio:

$$V = 0.8494 \times C * R h^{2.63} \times S^{0.54}$$

En función al diámetro:

$$Q = 0.28 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

Para el cálculo de pérdidas de carga por fricción o rozamiento por longitud se utilizará la siguiente ecuación:

$$H_f = S \times L$$

S: Pendiente (m/m)

HF: Pérdida de carga

C: Coeficiente de rugosidad

L: Longitud de tubería

D: Diámetro interior de Tubería

Q: Caudal

4.1 Sobre los cálculos para las condiciones negativas del 2015.

4.1.1. Para el análisis de las condiciones de succión.

Consideraremos los siguientes factores para el cálculo de pérdidas de carga en la succión para los siguientes accesorios.

Succión

	k	Diámetro m
Rejilla	1.00	0.9
<i>Válvula Mariposa</i>	0.50	0.9
Reducción	0.10	0.9

Descarga

Ensanchamiento	0.45	0.8
Válvula de retención	2.5	0.8
<i>Válvula Mariposa</i>	0.50	0.8
<i>Codo 45</i>	0.45	0.8
<i>Ampliación Brusca</i>	0.45	0.8

4.1.1.1 Cálculo del NPSH.

Consideraremos el cálculo del NPSH disponible, considerando las condiciones reales de trabajo del sistema de bombeo del proyecto Huascacocha.

Entonces se tiene de la siguiente ecuación: (Jara, 1998)

$$NPSH = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vap}}{\gamma} + z_a - h_f$$

Considerando:

Presión atmosférica a una altitud de 4450 msnm

Temperatura del líquido trasvasado 10 °C

Densidad del agua 1000 kg/m³

Gravedad: 9.796 m/s²

Caudal 2.63 m³/s

de bombas 3

succión de cada bomba 0.877 m³/s

$$Q = V * A$$

diámetro mm	d m	A m ²	v m/s	v ² /2g m
800	0.80	0.503	1.74	0.155375
800	0.80	0.503	1.74	0.155375

Tabla 33: Tabla de presión por altitud.

Altitude		Absolute Barometer		Absolute Atmospheric Pressure			
<i>feet</i>	<i>meter</i>	<i>inches Hg</i>	<i>mm Hg</i>	<i>psia</i>	<i>m</i>	<i>kg/cm²</i>	<i>kPa</i>
0	0	29.92	760	14.696	10.333	1.0333	101.33
500	153	29.38	746.3	14.43	10.15	1.015	99.49
1,000	305	28.86	733	14.16	9.96	0.996	97.63
1,500	458	28.33	719.6	13.91	9.78	0.978	95.91
2,000	610	27.82	706.6	13.66	9.6	0.96	94.19
2,500	763	27.32	693.9	13.41	9.43	0.943	92.46
4,500	1,373	25.37	644.4	12.46	8.76	0.876	85.91
5,000	1,526	24.9	632.5	12.23	8.6	0.86	84.33
6,000	1,831	23.99	609.3	11.78	8.28	0.828	81.22
7,000	2,136	23.1	586.7	11.34	7.97	0.797	78.19
8,000	2,441	22.23	564.6	10.91	7.67	0.767	75.22
9,000	2,746	21.39	543.3	10.5	7.38	0.738	72.4
10,000	3,050	20.58	522.7	10.1	7.1	0.71	69.64
15,000	4,577	16.89	429	8.29	5.83	0.583	57.16
20,000	6,102	13.76	349.5	6.76	4.75	0.475	46.61
25,000	7,628	11.12	282.4	5.46	3.84	0.384	37.65
30,000	9,153	8.903	226.1	4.37	3.07	0.307	30.13
35,000	10,679	7.06	179.3	3.47	2.44	0.244	23.93

De la tabla mostrada se interpolará la presión atmosférica para una altitud de 4450 msnm.

Altura Presión en m

4,577 5.83

4,450 X

3,050 7.1

Interpolación:

$$\frac{(4577 - 4450)}{(4450 - 3050)} = \frac{(5.83 - X)}{(X - 7.1)}$$

Entonces para una altura de 4450 msnm la presión atm. Es:

$$X = 5.94 \text{ m}$$

Ahora para la presión de vapor a 10°C.

Tabla 34: Tabla de presión de vapor.

Tabla de presión de vapor de agua					
Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)
0.0	4.6	19.5	17.0	27.0	26.7
5.0	6.5	20.0	17.5	28.0	28.3
10.0	9.2	20.5	18.1	29.0	30.0
12.5	10.9	21.0	18.6	30.0	31.8
15.0	12.8	21.5	19.2	35.0	42.2
15.5	13.2	22.0	19.8	40.0	55.3
16.0	13.6	22.5	20.4	50.0	92.5
16.5	14.1	23.0	21.1	60.0	149.4
17.0	14.5	23.5	21.7	70.0	233.7
17.5	15.0	24.0	22.4	80.0	355.1
18.0	15.5	24.5	23.1	90.0	525.8
18.5	16.0	25.0	23.8	95.0	633.9
19.9	16.5	26.0	25.2	100.0	760.0

Entonces para 10°C se tiene 9.2 mmHg. Multiplicando por 0.013 para convertir a metros de columna de agua dando un valor de 0.12m.

Ahora las pérdidas por fricción y accesorios

Por accesorios	K
Rejilla	0.850
Válvula	0.500
Reducción	0.100

Sumando todas las constantes K se tiene: 1.450

De las características descritas para la succión de cada unidad de bombeo se tiene:

$$\frac{v^2}{2g} = 0.155375$$

Entonces:

$$Hf_{ac} = 1.450 \times \frac{v^2}{2g} = 1.450 \times 0.155375 = 0.22529$$

Por Long.:

$$Hf \text{ long.} = 0.002441 \times \text{Longitud de tubería de succión}$$

$$Hf \text{ long.} = 0.002441 \times 7\text{m} = 0.017 \text{ m}$$

Luego la pérdida total será:

$$Hf \text{ total} = Hf \text{ ac} + Hf \text{ long} = 0.22529 + 0.017 = 0.242 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$NPSH = \frac{5.94 - 0.12}{(1000 \times 9.796)0.000102} + 2.61 - 0.242.$$

$$NPSH = 8.2 \text{ m (Disponible)}$$

NPSH para el 2015 es de 7.4 ya que la altura de succión en donde llegaba a operar el sistema era de 1.84 metros.

Tabla 35: Tabla de relación altitud y porcentaje de la poza de succión.

% en la poza	Altura "m" poza	Nivel Máximo 4446.61	Nivel del piso poza	Altura "m" piso poza-eje.	Altura "m" desde el eje.
109.49%	4.22	4446.43	4442.21	1.46	2.76
109.27%	4.21	4446.42	4442.21	1.46	2.75
109.00%	4.14	4446.35	4442.21	1.46	2.68
108.00%	4.1	4446.31	4442.21	1.46	2.64
107.00%	4.07	4446.28	4442.21	1.46	2.61
106.00%	4.03	4446.24	4442.21	1.46	2.57
105.00%	3.99	4446.2	4442.21	1.46	2.53
104.00%	3.95	4446.16	4442.21	1.46	2.49
103.00%	3.92	4446.13	4442.21	1.46	2.46
102.00%	3.88	4446.09	4442.21	1.46	2.42
101.00%	3.84	4446.05	4442.21	1.46	2.38
100.00%	3.8	4446.01	4442.21	1.46	2.34
95.00%	3.61	4445.82	4442.21	1.46	2.15
90.00%	3.42	4445.63	4442.21	1.46	1.96
85.00%	3.23	4445.44	4442.21	1.46	1.77

De la información del fabricante se tiene que: $NPSH = 7.9\text{ m}$ (Requerido)

Luego de la tabla N° 30. mostrada se puede apreciar que antes de implementar las mejoras del rendimiento de la estación de bombeo del proyecto Huascacocha, se puede apreciar que se venía trabajando en niveles muy bajos para el sistema, por debajo del requerido ya que para 2.35m el NPSHr es 7.9 m, ya que la poza de succión trabajaba hasta en 85% como muestra la tabla equivalente a 1.96 m muy por debajo de los 2.35 m para el requerido. Por ende, según los resultados del cálculo se tiene que concluir que a partir de ahora los trabajos deben realizarse con un nivel de poza del 105 % como mínimo para el sistema.

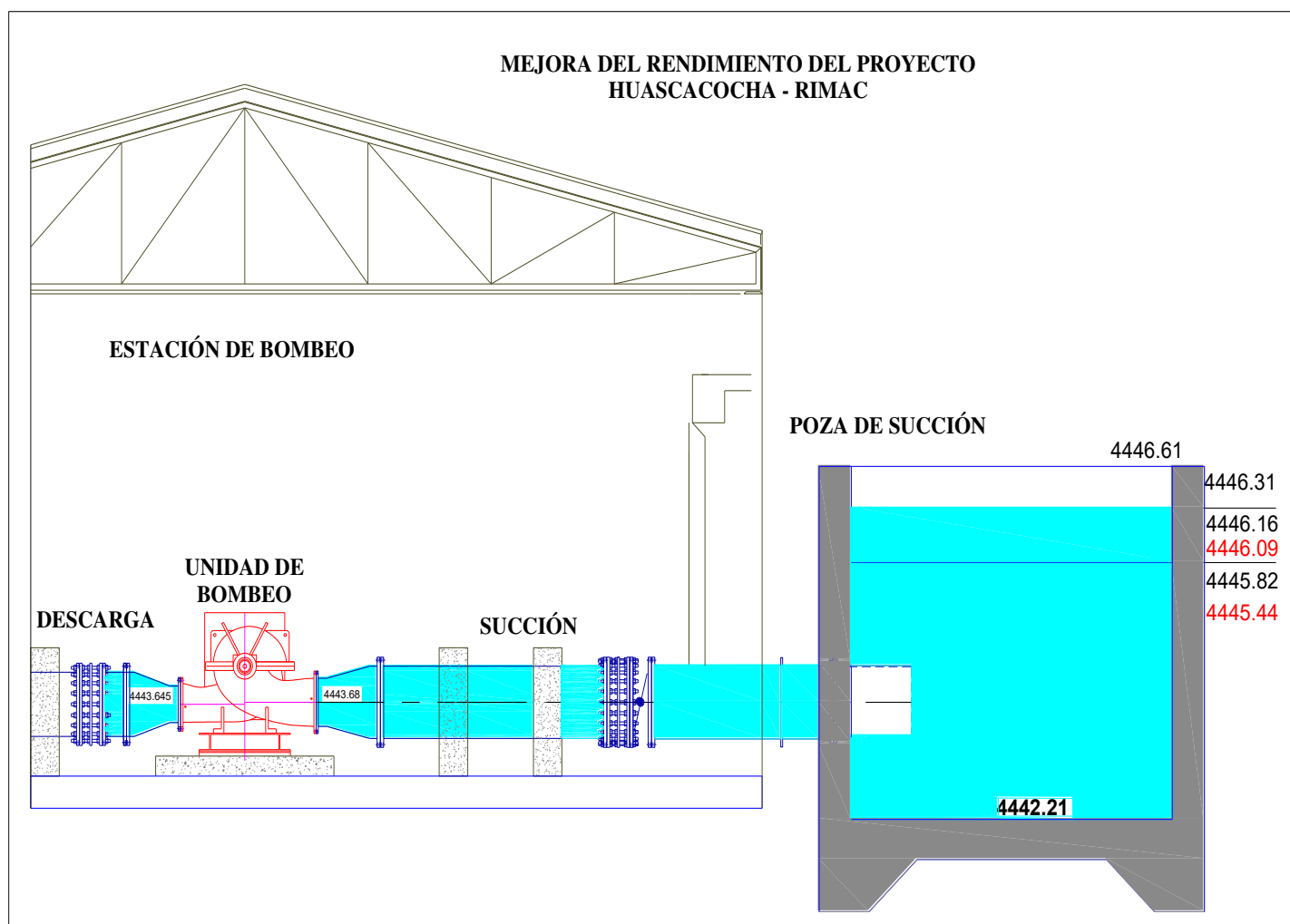


Ilustración 37: Detalle de la poza y el sistema de succión de las unidades de bombeo.

4.1.2. Para el análisis de las condiciones de impulsión.

Consideraremos los siguientes factores para el cálculo de pérdidas de carga en la descarga y la impulsión para los siguientes accesorios.

Tubería principal - Impulsión

	Cantidad	K
<i>Unión autoportante</i>	5	0.25
<i>Medidor de caudal</i>	2	1.00
<i>T Lateral de paso</i>	5	1.80
<i>T recirculación</i>	1	7.00
<i>Válvula mariposa</i>	1	0.50
<i>Y</i>	1	0.90
<i>Codo</i>	3	0.25
<i>Salida</i>	1	1.00

4.1.3. Para tuberías y accesorios.

4.1.3.1 Identificación de pérdida de carga.

Con la revisión exhaustiva de los accesorios involucrados desde la succión hasta la impulsión del caudal al sistema Marca III de Sedapal. Luego de las inspecciones visuales, dio como resultado identificar perdida de presión a través de la válvula de recirculación ubicada en el sistema de impulsión

Encontrándose así lo siguiente:

4.1.3.2 Válvula de Recirculación

Fuga de presión en válvula de recirculación, ésta no tenía un cierre hermético, esto debido a la mala regulación de la carrera de apertura y cierre en la válvula de recirculación del sistema de impulsión Huascacocha (válvula en falla).



Ilustración 38: No hay cierre hermético por falta de regulación de carrera de apertura y cierre en el mecanismo. (Epasa)



Ilustración 39: Imagen del sello hermético

Con lo los resultados de la inspección exhaustiva descrito, se tomará en cuenta para la realización de la gráfica de operación del sistema. (Epasa)

4.2. Resultados y grafica de operación 2015.

A continuación, se presenta la curva de operación Q vs H del sistema para el 2015.

Según los registros reales de operación obtenidos, procederemos a graficar el punto de operación en las cuales trabajaba la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac.

A continuación, se muestra las tablas con los resultados:

Donde:

S: Pendiente

L: Longitud total de tubería

D: diámetro

hf: Pérdida por longitud.

Vel.: velocidad

C: Coeficiente de Rugosidad

Para tres unidades de bombeo

4500 msnm gravedad $g = 9.796 \text{ m/s}^2$

Como lo presentado en la parte teórica se calculará **la altura dinámica total** usando la ecuación de Hazen Williams en función al diámetro. (Rocha)

Entonces:

$$Q = 0.28 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

Para el cálculo de pérdidas de carga por fricción o rozamiento por longitud se utilizará la siguiente ecuación: $H_f = S \times L$ (Rocha)

También:

$$\text{Altura dinamica total} = H \text{ estatica} + H_f \text{ accesorios} + H_f \text{ longitud.}$$

Tabla 36: Resultados cálculos operación 2015.

Q			D (m)	D^2.63	C	S0.54	S (m/m)	S (m/100m)	L (m)	hf (m)	Vel. (m/s)	V ² /2g	Altura estática	Unidades en Operación	Pérdida acc. Succ. Desc.	Perdida acc. Impulsión Principal	Altura Estática + hf+acc	Altura dinámica Total
3.32	2.63	0.69	1.2	1.615	145	0.051	0.004	0.398	400	1.59	2.93	0.439	100.10	4	3.004	9.84	114.54	114.98
3.26	2.63	0.63	1.2	1.615	145	0.050	0.004	0.386	400	1.55	2.89	0.425	100.10	4	2.926	9.52	114.10	114.52
3.05	2.63	0.42	1.2	1.615	145	0.047	0.003	0.342	400	1.37	2.70	0.372	100.10	4	2.687	8.34	112.49	112.87
3.02	2.63	0.39	1.2	1.615	145	0.046	0.003	0.335	400	1.34	2.67	0.365	100.10	4	2.659	8.17	112.27	112.63
3.01	2.63	0.38	1.2	1.615	145	0.046	0.003	0.333	400	1.33	2.66	0.362	100.10	4	2.652	8.12	112.20	112.57
3.00	2.63	0.37	1.2	1.615	145	0.046	0.003	0.330	400	1.32	2.65	0.359	100.10	4	2.639	8.03	112.09	112.45
2.96	2.63	0.33	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.323	400	1.29	2.62	0.350	100.10	4	2.612	7.85	111.85	112.20
2.96	2.63	0.32	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.321	400	1.29	2.61	0.349	100.10	4	2.607	7.81	111.80	112.15
2.95	2.63	0.32	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.320	400	1.28	2.61	0.346	100.10	4	2.601	7.76	111.74	112.09
2.94	2.63	0.31	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.318	400	1.27	2.60	0.344	100.10	4	2.595	7.71	111.68	112.02
2.93	2.63	0.30	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.316	400	1.26	2.59	0.342	100.10	4	2.588	7.66	111.61	111.95
2.92	2.63	0.29	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.314	400	1.25	2.58	0.340	100.10	4	2.582	7.61	111.54	111.88
2.92	2.63	0.29	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.314	400	1.25	2.58	0.339	100.10	4	2.581	7.60	111.54	111.88
2.91	2.63	0.28	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.313	400	1.25	2.58	0.339	100.10	4	2.580	7.59	111.53	111.87
2.90	2.63	0.27	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.311	400	1.24	2.57	0.337	100.10	4	2.574	7.54	111.46	111.79
2.89	2.63	0.26	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.308	400	1.23	2.55	0.332	100.10	4	2.564	7.45	111.34	111.67
2.88	2.63	0.25	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.307	400	1.23	2.55	0.332	100.10	4	2.562	7.43	111.32	111.65
2.88	2.63	0.25	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.306	400	1.23	2.55	0.331	100.10	4	2.560	7.41	111.30	111.63
2.86	2.63	0.23	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.303	400	1.21	2.53	0.327	100.10	4	2.551	7.33	111.19	111.52
2.85	2.63	0.22	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.301	400	1.20	2.52	0.325	100.10	4	2.546	7.27	111.12	111.45
2.85	2.63	0.22	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.301	400	1.20	2.52	0.324	100.10	4	2.546	7.27	111.11	111.44
2.85	2.63	0.22	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.301	400	1.20	2.52	0.324	100.10	4	2.545	7.26	111.11	111.43
2.84	2.63	0.21	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.299	400	1.20	2.51	0.323	100.10	4	2.542	7.22	111.06	111.38
2.83	2.63	0.20	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.297	400	1.19	2.51	0.320	100.10	4	2.538	7.18	111.01	111.33
2.83	2.63	0.20	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.296	400	1.18	2.50	0.319	100.10	4	2.535	7.15	110.97	111.29

Tabla 37: Resultados cálculos operación 2015.

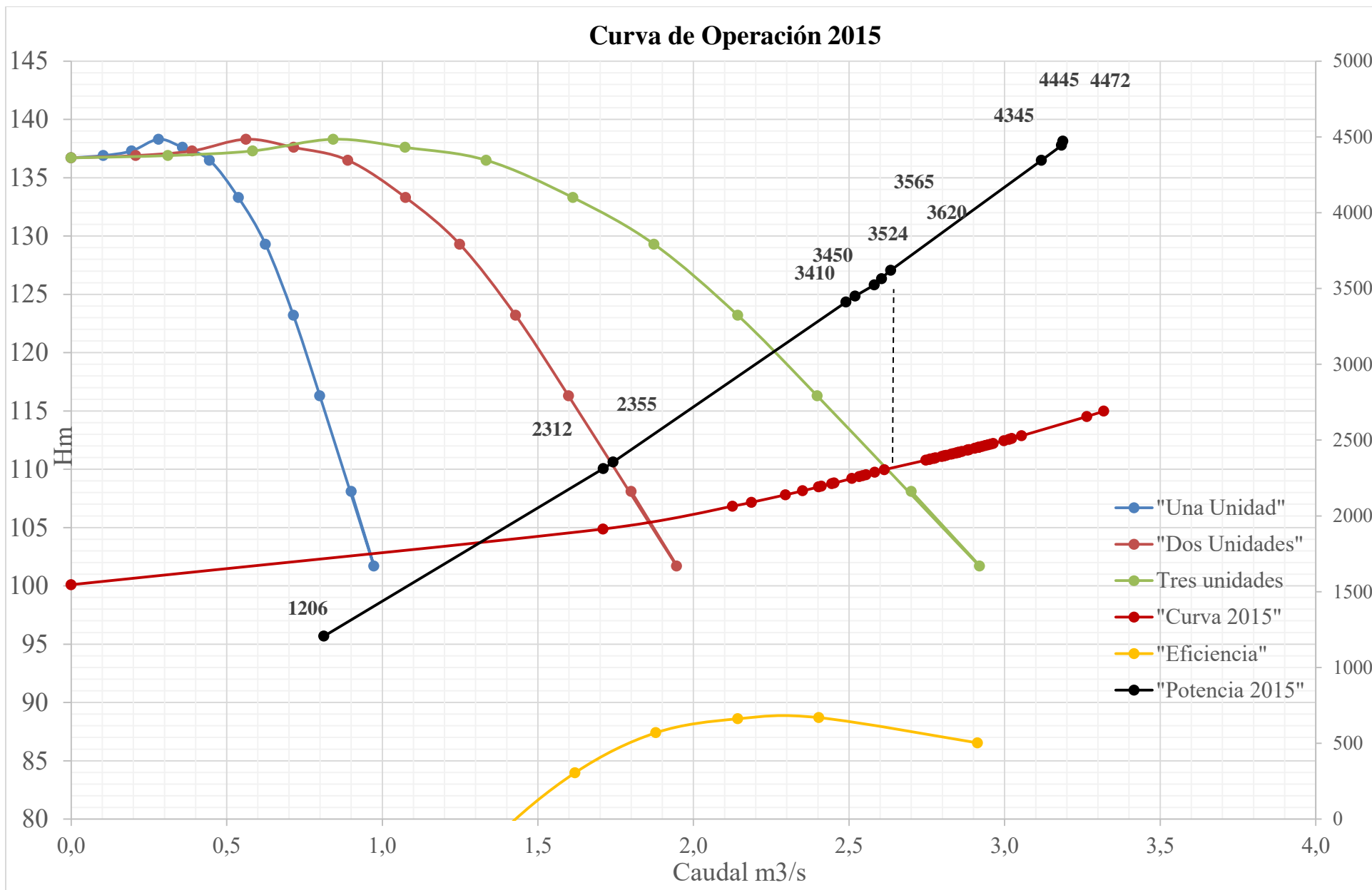
Q			D (m)	D2.63	C	S0.54	S (m/m)	S (m/100m)	L (m)	hf (m)	Vel. (m/s)	V²/2g	Altura estática	Unidades en Operación	Pérdida acc. Succ. Desc.	Perdida acc. Impulsión Principal	Altura Estática + hf+acc	Altura dinámica Total
2.81	2.63	0.18	1.2	1.615	145	0.043	0.0029	0.2934	400	1.17	2.49	0.316	100.10	4	2.529	7.07	110.88	111.19
2.81	2.63	0.18	1.2	1.615	145	0.043	0.0029	0.2921	400	1.17	2.48	0.314	100.10	4	2.526	7.04	110.84	111.15
2.80	2.63	0.17	1.2	1.615	145	0.043	0.0029	0.2917	400	1.17	2.48	0.314	100.10	4	2.526	7.03	110.82	111.14
2.80	2.63	0.17	1.2	1.615	145	0.043	0.0029	0.2904	400	1.16	2.47	0.312	100.10	4	2.523	7.00	110.78	111.09
2.78	2.63	0.15	1.2	1.615	145	0.042	0.0029	0.2867	400	1.15	2.46	0.308	100.10	4	2.517	6.90	110.66	110.97
2.77	2.63	0.14	1.2	1.615	145	0.042	0.0029	0.2857	400	1.14	2.45	0.307	100.10	4	2.515	6.87	110.63	110.94
2.77	2.63	0.14	1.2	1.615	145	0.042	0.0029	0.2857	400	1.14	2.45	0.307	100.10	4	2.515	6.87	110.63	110.94
2.76	2.63	0.13	1.2	1.615	145	0.042	0.0028	0.2835	400	1.13	2.44	0.304	100.10	4	2.512	6.82	110.56	110.87
2.76	2.63	0.13	1.2	1.615	145	0.042	0.0028	0.2828	400	1.13	2.44	0.304	100.10	4	2.511	6.80	110.54	110.84
2.75	2.63	0.12	1.2	1.615	145	0.042	0.0028	0.2807	400	1.12	2.43	0.301	100.10	4	2.508	6.74	110.47	110.78
2.61	1.75	0.86	1.2	1.615	145	0.040	0.0026	0.2560	400	1.02	2.31	0.273	100.10	3	2.461	6.11	109.69	109.96
2.58	1.75	0.83	1.2	1.615	145	0.039	0.0025	0.2504	400	1.00	2.28	0.266	100.10	3	2.404	5.96	109.47	109.73
2.55	1.75	0.80	1.2	1.615	145	0.039	0.0025	0.2455	400	0.98	2.26	0.260	100.10	3	2.355	5.83	109.27	109.53
2.54	1.75	0.79	1.2	1.615	145	0.039	0.0024	0.2435	400	0.97	2.25	0.258	100.10	3	2.336	5.78	109.19	109.45
2.53	1.75	0.78	1.2	1.615	145	0.039	0.0024	0.2415	400	0.97	2.24	0.256	100.10	3	2.317	5.73	109.12	109.37
2.51	1.75	0.76	1.2	1.615	145	0.038	0.0024	0.2374	400	0.95	2.22	0.251	100.10	3	2.279	5.63	108.96	109.21
2.45	1.75	0.70	1.2	1.615	145	0.037	0.0023	0.2275	400	0.91	2.17	0.240	100.10	3	2.189	5.37	108.57	108.81
2.44	1.75	0.69	1.2	1.615	145	0.037	0.0023	0.2262	400	0.90	2.16	0.238	100.10	3	2.178	5.34	108.52	108.76
2.41	1.75	0.66	1.2	1.615	145	0.037	0.0022	0.2205	400	0.88	2.13	0.232	100.10	3	2.128	5.20	108.31	108.54
2.40	1.75	0.65	1.2	1.615	145	0.037	0.0022	0.2190	400	0.88	2.12	0.230	100.10	3	2.116	5.16	108.25	108.48
2.35	1.75	0.60	1.2	1.615	145	0.036	0.0021	0.2104	400	0.84	2.08	0.220	100.10	3	2.047	4.94	107.93	108.15
2.30	1.75	0.54	1.2	1.615	145	0.035	0.0020	0.2014	400	0.81	2.03	0.210	100.10	3	1.979	4.71	107.60	107.81
2.19	1.75	0.43	1.2	1.615	145	0.033	0.0018	0.1839	400	0.74	1.93	0.191	100.10	3	1.864	4.27	106.97	107.16
2.13	1.75	0.37	1.2	1.615	145	0.032	0.0017	0.1746	400	0.70	1.88	0.180	100.10	3	1.811	4.04	106.65	106.83
1.71	0.88	0.83	1.2	1.615	145	0.026	0.0012	0.1166	400	0.47	1.51	0.117	100.10	2	1.580	2.61	104.76	104.88
0.00	0.00	0.00	1.2	1.615	145	0.000	0.0000	0.0000	400	0.00	0.00	0.000	100.10	1	0.000	0.00	100.10	100.10

Se muestra también los registros del cuaderno de control para incluir en la gráfica la potencia.

Tabla 38: Registro de operación 2015 “Potencia”. (Epasa)

2015						
Fecha	Estación m³/s	Marca III m³/s	nivel poza %	H(m.c.a)	Potencia CM3 (kw)	Eficiencia
1/05/2015 05:45	3.27	3.19	100.74	113.89	4472	79.59%
1/05/2015 06:45	3.28	3.18	102.27	113.86	4445	79.93%
1/05/2015 07:15	3.21	3.12	101.21	113.35	4345	79.75%
1/05/2015 00:30	2.74	2.63	98.13	110.11	3620	78.54%
1/05/2015 00:45	2.69	2.60	93.60	109.12	3565	78.17%
1/05/2015 04:15	2.67	2.58	87.56	108.99	3524	78.25%
1/05/2015 01:00	2.60	2.52	87.60	108.66	3450	77.80%
26/06/2015 12:00	2.58	2.49	104.29	108.51	3410	77.68%
1/05/2015 12:30	1.80	1.74	104.64	105.10	2355	76.21%
1/07/2015 06:00	1.76	1.71	99.75	105.04	2312	76.17%
1/05/2015 23:00	0.89	0.81	109.40	104.41	1206	68.93%

Dichos registros se muestran del cuaderno de control de operación 2015 del proyecto Huascacocha.



Gráfica 4: Se muestra la curva de operación del periodo 2015.

4.3. Nuevas condiciones 2016.

Luego de los análisis correspondientes en el capítulo de datos y metodología, y en base a los cálculos y resultados, podemos ir reformulando las nuevas condiciones de operación de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha –Rímac.

4.4.1 Escenario positivo para obtener mejores condiciones para la estación.

Se describe a continuación los parámetros necesarios a conseguir para obtener resultados óptimos al término del presente trabajo como son: conseguir un área de succión adicional en las canastillas de hasta un 10%, aumentar la capacidad de almacenamiento como mínimo un volumen de 100 m³. equivalente a un aumento de capacidad de poza de 109%, o altura de 4.22 m. cero fugas de agua en accesorios para pérdidas de carga, a lo ya adecuado en el diseño. Impulsión para el sistema > de 10 bar, Rendimiento de unidades mayor igual de 104 mlc. Altura dinámica total de 107mlc. Entonces mover el punto de operación para el sistema según la necesidad de Huascacocha, disminuimos la altura y ganamos caudal.

Sumergencia considerada para la operación y mantenimiento, así como el control de descarga de la presa para un flujo constante de 2.63m³/s. medidas de seguridad de operación y control.

Se describirá a continuación, las mejoras implementadas para crear nuevas condiciones de operación, con el objetivo de mejorar el rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha Rímac. Encontrándose un nuevo punto de operación que se adecue al sistema y sus necesidades desde la operación misma hasta la influencia en la facturación eléctrica para dicho proyecto.

4.4.1.1 Mejora de capacidad de almacenamiento de la poza de succión.

Dimensiones de la poza de succión es de: 4.5 m de ancho, 46m de largo y 4.06m de alto, con capacidad de almacenamiento incluido su transición era de 1460 m³, cuenta con un aliviadero de 20m de largo con capacidad para descargar 0.5 m³/s, parte de mejorar el sistema, fue implementar el aumento de la capacidad de almacenamiento de la poza de succión, que consistió en levantar 0.26m, la cresta del aliviadero consiguiendo ganar un volumen adicional de 110m³, y un volumen total para toda la poza de 1570m³.

Consiguiendo así aumentar el nivel de energía de la poza de succión, para alcanzar un buen y eficiente punto de operación para el sistema. Y por ende el nivel de volumen almacenado en dicha poza de succión. También es necesario recalcar que dichos cambios no alteran o ponen en riesgo la función del aliviadero, ya que se cuenta con una compuerta de emergencia y las purgas en los sifones 3 y 4 ubicados muy cerca de la poza de almacenamiento, con capacidad para descargar controladamente el caudal ingresado a la poza de succión, como es el caso para el diseño de los 2.63m³/s. (OAS, 2010)

Esta mejora implementada de aumentar la capacidad de la poza de succión, nos permitió elevar un nivel máximo de la poza en 109.27%, equivalente a 4.21m, momento en que empieza a rebosar el agua por el vertedero, cambiando así por nuevas condiciones de operación como es el de establecer un nivel óptimo de operación de la estación de bombeo en 107%, equivalente a 4.07m, por ende, aumentando el nivel de energía de la poza.



Ilustración 40: En la imagen se aprecia que el aliviadero trabaja cuando el nivel de la poza está a un 109.27% equivalente a 4.21m de altura de la poza o 4446.42msnm. (Epasa)

En el siguiente cuadro se puede apreciar, que, con la mejora implementada del aumento del nivel de poza, se consiguió obtener nuevos valores en función a su equivalente en metros de altura, programado a través del sensor de nivel ubicado en la poza de succión, en función a su nivel de referencia.

Tabla 39: Nuevo Nivel de poza de succión.

Nivel en %		Altura de poza en m	Cota del tirante en msnm
Nivel de referencia:		4442.21	
#	Nivel Máximo	4.40	4446.61
1	109.49%	4.22	4446.43
2	109.27%	4.21	4446.42
3	109.00%	4.14	4446.35
4	108.00%	4.10	4446.31
5	107.00%	4.07	4446.28
6	106.00%	4.03	4446.24
7	105.00%	3.99	4446.20
8	104.00%	3.95	4446.16
9	103.00%	3.92	4446.13
10	102.00%	3.88	4446.09
11	101.00%	3.84	4446.05
12	100.00%	3.80	4446.01
13	95.00%	3.61	4445.82
14	90.00%	3.42	4445.63
15	85.00%	3.23	4445.44

Para estos cambios establecidos con un nuevo cuadro de valores, conseguidos, la idea es aumentar el nivel de energía de la poza y evitar trabajos forzados a las unidades de bombeo, buscando como resultado disminuir el consumo de energía.

Luego de los resultados obtenidos en los análisis, cálculos y resultados, se recomendará establecer un punto de trabajo constante para el nivel de poza de succión en 107%.

4.4.1.2 Mejora en el control de pérdidas de carga.

En esta parte se considerará un constante monitoreo de accesorios, identificación de eventos que conlleven a generar pérdidas de presión en el sistema de impulsión, de la mano de un plan de operación y mantenimiento adecuado.

Se registró los siguientes casos de pérdidas de presión, las cuales se corrigieron para conseguir buenos parámetros de operación en el sistema.

Empaques desgastados en el sistema de impulsión, específicamente en la unión portante del medidor de caudal electromagnético. Es necesario acotar que el mantenimiento correctivo de dicha actividad como es el cambio de empaque puede llevar hasta 4 horas de trabajo y en temporada de operación es un tiempo muy valioso. (OAS, 2010)

Sobre el diseño de los empaques de las juntas, optó por cambiar dichos empaques a los actuales como son de caucho anti abrasivo de ¼” de espesor con lona y de dureza de 60/65 Shore.



Ilustración 41: En la imagen se aprecia pérdida de presión en el empaque y la unión portante del medidor de caudal electromagnético. (Epasa)



Ilustración 42: En la imagen se aprecia al empaque dañado. (Epasa)

4.4.1.3 Mejora sobre instalación de brida ciega en la recirculación.

La función de la brida ciega es que puesta en montaje al final de la unión regulable en dirección a la poza de succión, selle herméticamente la fuga de agua, que la válvula de recirculación no es capaz de sellar debido a que esta está dañada (lenteja de válvula dañada)

Descripción del Trabajo:

Se ha fabricado una brida ciega para montar en la última línea de la válvula de recirculación, el trabajo consistirá en reducir el espacio de la unión auto portante para poder montar (insertar), la brida ciega y sellar la fuga de agua, esto sin necesidad de desmontar la válvula de recirculación. (OAS, 2010)

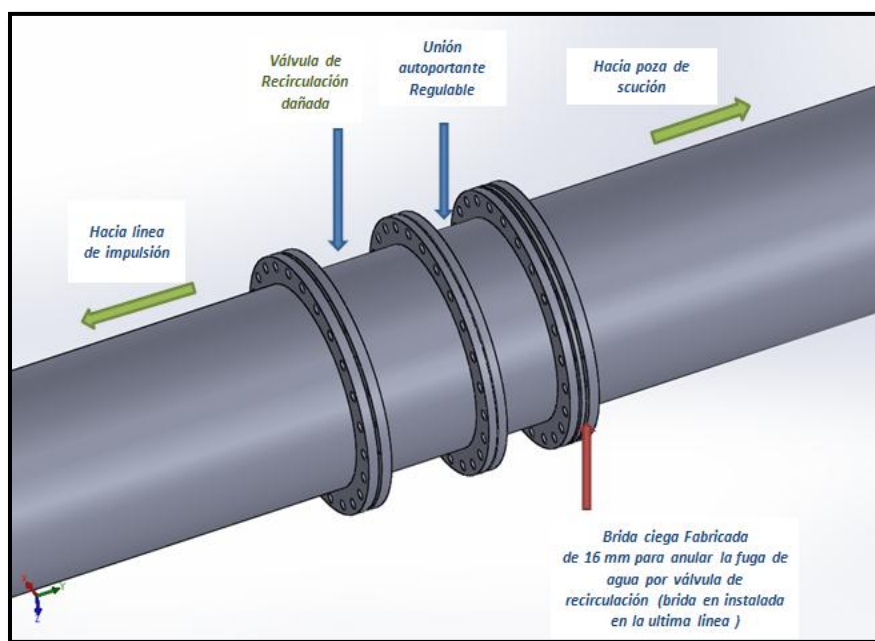


Ilustración 43: La brida fue colocada en la última línea en dirección a la poza.

Se Optó por colocar una brida ciega de hasta 10 bar, esto para evitar pérdidas de presión en la impulsión del sistema de trasvase del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac. Con dicha brida ciega es necesario recalcar que se anula la válvula de recirculación, cuya función era recircular el caudal impulsado para las pruebas de las unidades de bombeo.

Características de la brida ciega fabricada:

BRIDA 700 mm ISO PN16

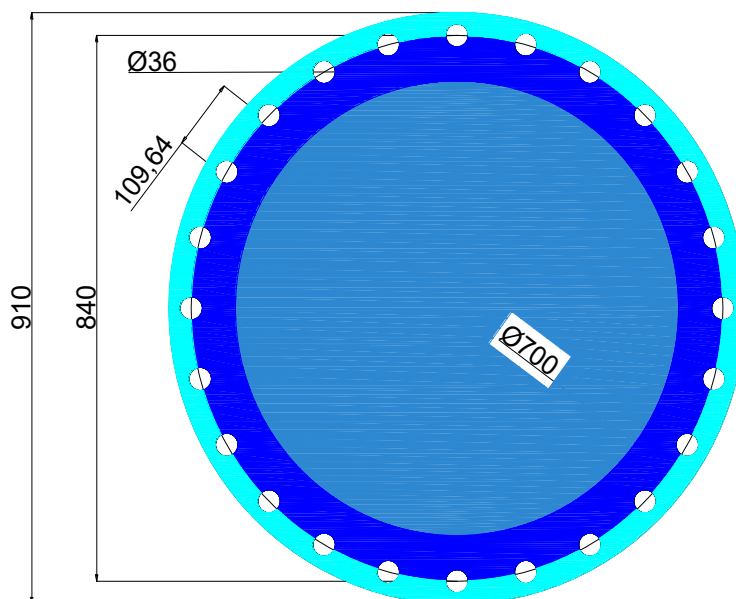


Ilustración 44: Diseño de brida ciega.

Se realizó una pequeña simulación de la brida fabricada, en el programa SOLIDWORKS. Ingresando las condiciones para poder llegar a los 10 BAR que requiere el sistema de impulsión de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac.

El trabajo de implementación de mejoras para obtener un buen rendimiento de la estación de bombeo del proyecto Huascacocha-Rímac, como es la colocación de una brida ciega, para anular la válvula de recirculación fue hecha los días 30 y 31 de octubre del 2015.

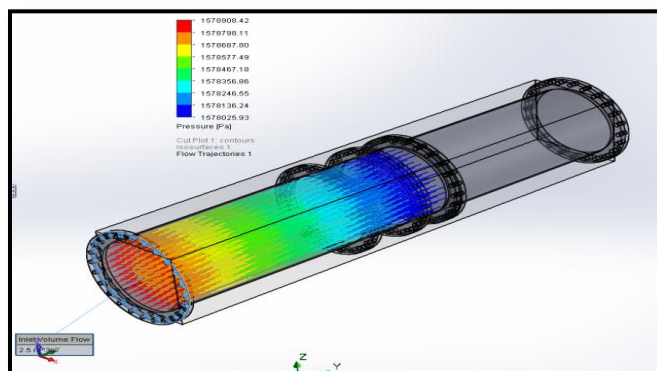


Ilustración 45: En la imagen se puede apreciar la simulación de la brida hasta 15. (Cuellar)

Ilustración de proceso de implementación de la brida ciega.

A continuación, se muestra el registro fotográfico de la brida ciega fabricada en el taller de maestranza.

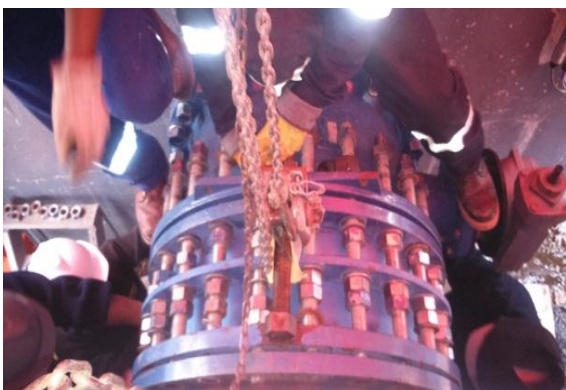


Ilustración 46: En la imagen se muestra el desmontaje de la válvula de recirculación. (Epasa)



Ilustración 47: En la imagen se muestra los trabajos de fabricación de la brida ciega, acondicionada para anular la válvula de recirculación, y evitar las pérdidas de presión. (Epasa)



Ilustración 48: En la imagen se muestra los trabajos del montaje de la brida ciega, para anular la recirculación del sistema. (Epasa)

4.4.1.4 Implementación de plataforma para limpieza de canastillas de succión.

En la imagen se aprecia que las rejillas llegan obstruirse constantemente por las algas que llegan a través de todo el sistema de conducción.

Cabe mencionar que se instaló una plataforma para limpieza de canastillas de succión, dando buenos resultados, ya que cuando las canastillas se encuentran obstruidos y las unidades de bombeo trabajando en presiones negativas, la acción inmediata es la limpieza manual con herramientas fabricadas y acondicionadas para el retiro de algas y solidos de la succión de las unidades.



Ilustración 49: canastillas de succión obstruidos. (Epasa)

Es importante señalar que para realizar dicho trabajo se tiene que apagar la unidad de bombeo a la que se le está limpiando la succión. (Aproximadamente 30 min por unidad).

A continuación, se muestra las imágenes de la plataforma construida y la actividad en curso.



Ilustración 50: En la imagen se muestra al personal retirando material sólido y removiendo las algas adheridas a los canastillas de succión. (Epasa)



Ilustración 51: En la imagen también se puede apreciar las plataformas que se implementaron para poder realizar dichas actividades (Epasa)



Ilustración 52: La plataforma implementada como se observa en la imagen. (Epasa)

La implementación de la plataforma de limpieza consistió en, colocar un carril de ángulos en la pared de la poza de succión y el tendido de maderas de 1" x 8" x 3', empernando en para su sujeción, como se aprecia en la imagen anterior el anclaje es en ambas partes, como es en la pared de la estación de bombeo y en la pared de la poza de succión, la plataforma es de 40m de largo por 90 cm de ancho. También se colocó la misma longitud de línea de vía para la seguridad del personal en este tipo de actividades.

Esta limpieza de las canastillas de succión es muy importante ya que dicha actividad logra restablecer las buenas condiciones de presione de succión, combatiendo así la obstrucción de la rejilla y las presiones negativas en la succión.

4.4.1.5 Cálculo para mejorar el área de la succión, en las canastillas según normas de instituto de hidráulica. (Hydraulic Institute EEUU).

A continuación, se presenta los trabajos realizados con el fin de mejorar la succión de la estación de bombeo del trasvase Huascacocha,

En la descripción siguiente se muestra las dimensiones de los agujeros y el área total de succión para el sistema.

El diseño de construcción la siguiente rejilla cuenta con:

Agujeros en la parte frontal: 2858 de 3/8"

Agujeros en toda la zona lateral: 8850 de 3/8"

Total, de 11708 agujeros de 3/8" que hacen un área total de 8342.641 cm², para el ingreso del Fluido.

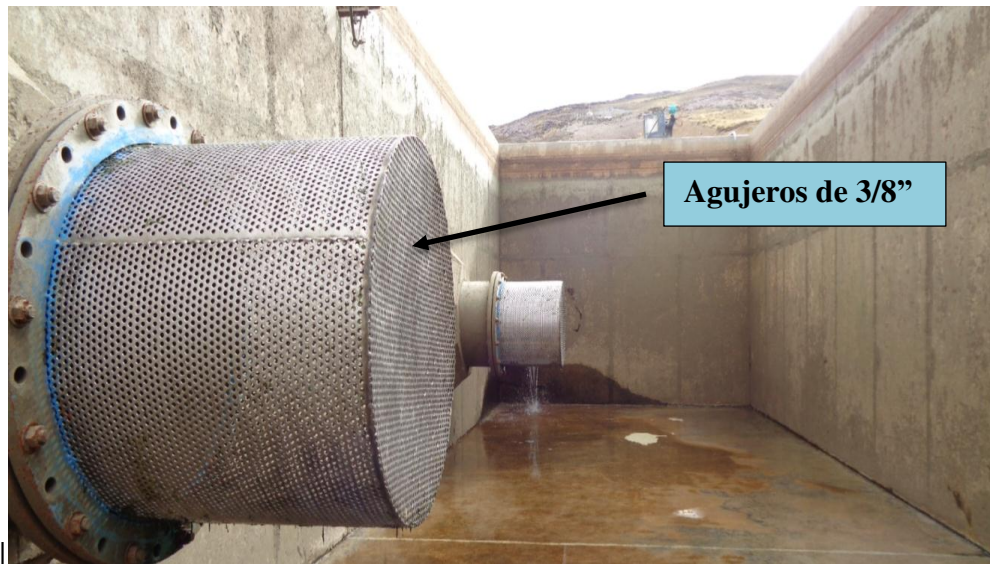


Ilustración 53: En la imagen se muestra el tipo de filtro de la succión. (Epasa)

Luego lo que se ha realizado en la succión de la estación de bombeo Huascacocha, es aumentar el diámetro de los agujeros ya hechos para poder aumentar la succión, consiguiendo ejecutar dicha ampliación del diámetro a 670 agujeros, pasando a medir de 3/8" a 5/8".

A continuación, se muestran las actividades ejecutadas.



*Ilustración 54: En las imágenes se muestran el desmontaje de las canastillas de succión.
(Epasa)*



*Ilustración 55: En la imagen se muestra las canastillas listas para su modificación.
(Epasa)*

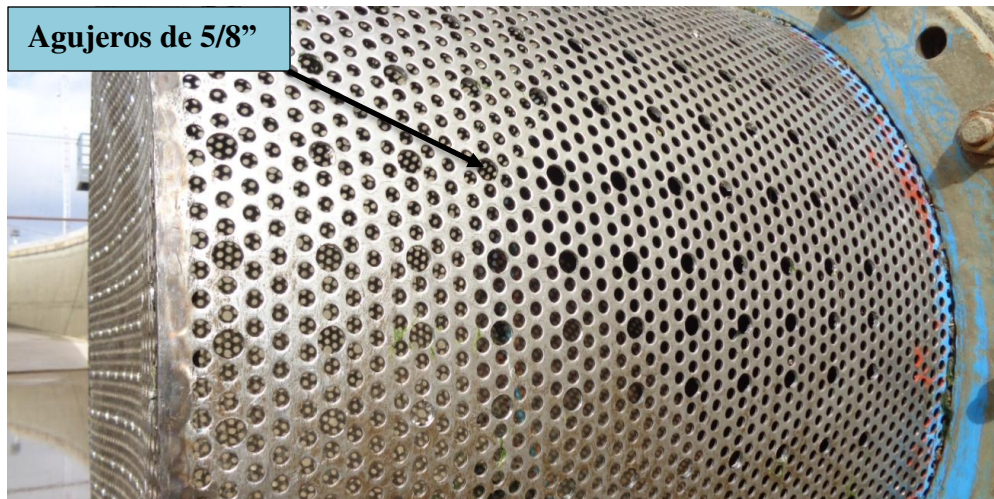


Ilustración 56: En la imagen se muestra los agujeros de 5/8" en la parte lateral.

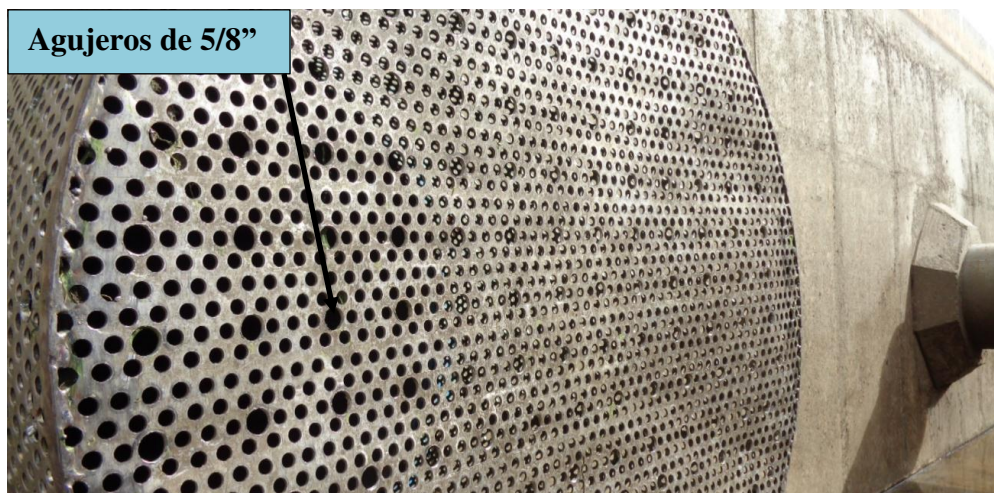


Ilustración 57: En la imagen se muestra los agujeros de 5/8" en la parte frontal.

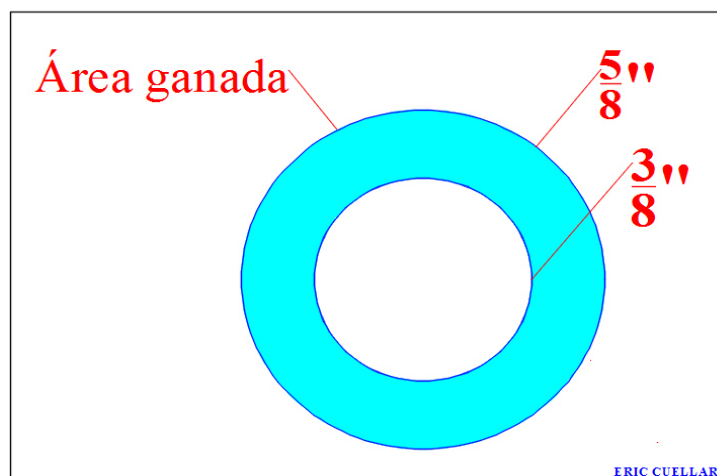


Ilustración 58: En la imagen se muestra el detalle del área ganada para el sistema.

Tabla 40: Detalles de los agujeros en la succión.

Descripción	Cantidad	cm	Radio cm	Área cm ²	Área Total
Agujero Frontal 3/8"	2858	0.9525	0.47625	0.71256 cm ²	2036.494 cm ²
Agujero Lateral 3/8"	8850	0.9525	0.47625	0.71256 cm ²	6306.148 cm ²
Total	11708				8342.641 cm²

Tabla 41: Detalles de los agujeros en la succión.

Descripción	Cantidad	cm	Radio cm	Área cm ²
Agujero Frontal 5/8"	164	1.5875	0.79375	1.97933 cm ²
Agujero Lateral 5/8"	506	1.5875	0.79375	1.97933 cm ²
Total	670			

Área de diseño de cada agujero: 0.71256 cm²

Área de agujero Final: 1.97933 cm²

Área ganada por cada agujero: 1.267 cm² (Restando Final - Diseño)

Entonces multiplicando el área ganada por la cantidad, se tiene:

Área total ganada: 848.737 cm².

Por ende:

Nueva Área de succión para el sistema es: 8342.641 cm² + 848.737 cm² = 9191.378 cm².

Siendo el aumento de un **10.17%** del área inicial de diseño como mejora para el sistema.

Es necesario recalcar que en ambas situaciones de antes y después se cumple lo requerido para el área de succión de bombas que es:

ÁREA DE LOS AGUJEROS x 4 > EL ÁREA DE LA TUBERÍA. (Institute, Hydraulic Institute)

Tubería: Radio 45.0 cm² Área 6361.740 cm²

9191.378 cm² x 4 > 6361.740 cm²

36765.5139 cm² > 6361.740 cm²

4.4.1.6 Cálculo del nivel de sumergencia, para obtener los niveles mínimos de operación.

Como parte del presente trabajo se considerará el cálculo de sumergencia, para identificar el nivel mínimo de operación al cual puede llegar el agua en la poza de succión, así mantener segura las unidades de bombeo, y evitar crear condiciones en la succión, poniendo en riesgo a las unidades a través del fenómeno de cavitación.

Evitar la formación de vórtice en la succión de las unidades de bombeo, para lo cual se calculará la sumergencia en la poza de succión ya que en el transcurso de los años de operación del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac, solo se seguía el criterio de no bajar más del 85%, equivalente a 3.23m de altura, en la poza de succión, sin ningún criterio del porqué. Con el cálculo del nivel de sumergencia se dará sentido al mínimo nivel de agua que se podrá alcanzar en la poza de succión.

Para lo cual se trabajará con la siguiente ecuación.

$$S = D (1 + 2.3 F_r) \dots \text{Sumergencia sin vórtices}$$
$$F_r = \frac{V}{(g \cdot D)^{0.5}}$$

Dónde:

S = Altura de sumergencia para eliminar totalmente el vórtice

V = Velocidad de entrada del agua. (m/s)

g = aceleración de la gravedad. (m/s²)

D = Diámetro de orificio de la voluta (m)

F_r = Numero de Froude.

Para el cálculo de sumergencia en la poza de succión de la estación de bombeo:
(Rocha)

Sea:

$$V = 1.38 \text{ m/s}$$

$$g = 9.796 \text{ m/s}^2$$

$$D = 0.89 \text{ m}$$

Dónde:

$$F_r = \frac{1.38 \text{ m/s}}{(9.796 \times 0.89 \text{ m})^{0.5}} = 0.467$$

$$F_r = \text{Numero de Froude.} = 0.467$$

Reemplazando en la ecuación de sumergencia:

$$S = D (1 + 2.3 F_r) = 0.89 (1 + 2.3 (0.467))$$

$$S = 1.84 \text{ m}$$

Del cálculo de sumergencia determinaremos el nivel mínimo de operación

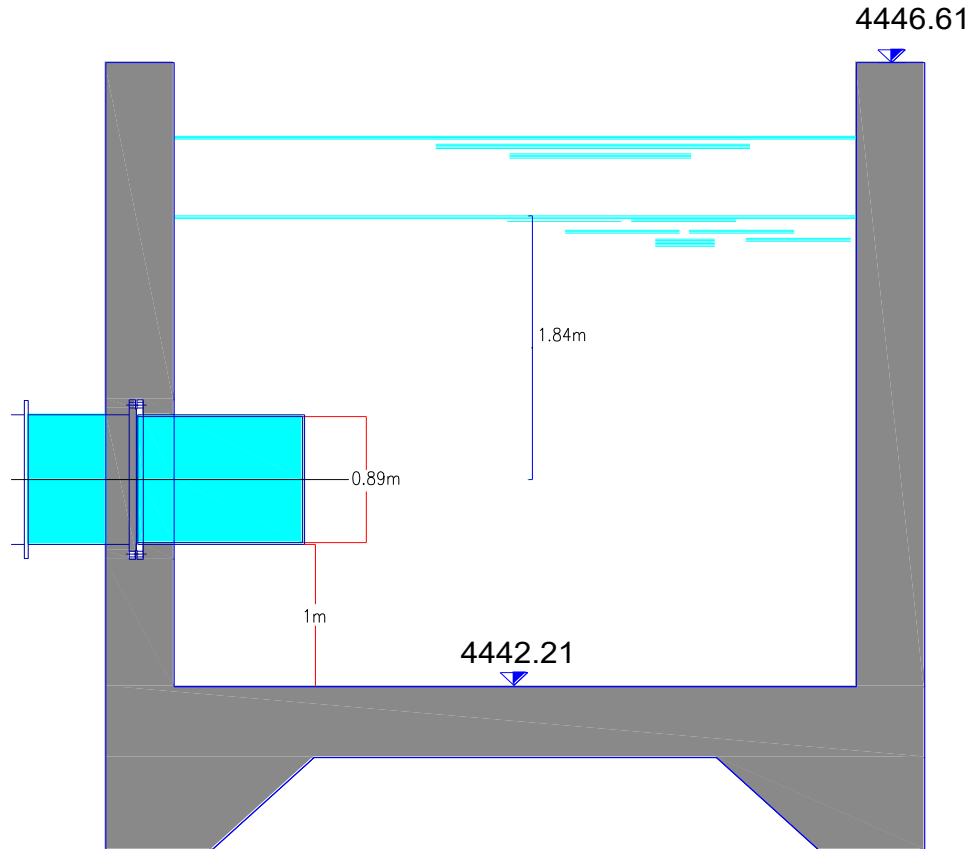


Ilustración 59: Plano de referencia de poza de succión. (Cuellar)

Como se muestra en la gráfica el nivel mínimo de operación sería el siguiente:

Nivel del piso al eje de tubería = 1.46 el nivel de sumergencia = 1.84, Sumando ambas alturas: $1.46 + 1.84 = 3.30 \text{ m}$, entonces en porcentaje (%) será.

Interpolando los porcentajes (%) para un valor de 3.30m: De los valores de la tabla N° 14, se tiene:

90.00%	3.42
X	3.30
85.00%	3.23

Interpolando para 3.30m la equivalencia será 86.84% **para una cota de 4445.51** para el nivel mínimo de operación.

Concluimos que para un nivel de 86.84% equivalente a 3.30m será el mínimo nivel de operación, disminuir más de estos valores indicados pone en riesgo, de establecer condiciones para que el fenómeno de cavitación se presente.

4.4.1.7 Implementación de sensor de nivel y de alarmas de operación en la poza de succión.

También se implementó la puesta de dos alarmas de nivel que trabajen con la poza de succión para un nivel máximo y para un nivel mínimo como es lo siguiente:

Conexión de Alarma

Se instala la alarma para un nivel máximo de operación de 107%, equivalente a 4.07m de altura en la poza, y evitar el rebose en la poza de succión de la estación de bombeo, instalándose una boya en dicha poza de succión, dicha boya actúa de la siguiente manera:

Cuando esta es modificada de su estado de reposo, cierra un contacto (como interruptor), esta es activada a través de un circuito en 24 VDC. (Epasa)

Se implementa la alarma sonora en el centro de control de la estación de bombeo la cual se alimenta de 24 VDC con cable N° 12 AWG, alimentada desde los tableros de control.

El polo positivo sale de la bornera Numero: 400-TB 10 - 68 y alimenta directo a la sirena, mientras que el polo negativo sale de la bornera N° 400-KA 1 -12- A2, se conecta a la boya y luego ésta regresa y se conecta a la sirena. (Epasa)

Quedando así implementada dicho sistema de trabajo con: para en nivel mínimo a un porcentaje del 90% equivalente a 0.0m y par el nivel máximo a un 107%, equivalente a 4.07m. En donde la alarma sonora se activa al llegar a dichos valores mencionados.

Alarma para nivel máximo:

Trabaja con una boya instalada en la poza de succión para un nivel de 107% máximo equivalente a 4.07 m de altura en la poza de succión.



Ilustración 60: Alarma de nivel máximo y mínimo para poza de succión.

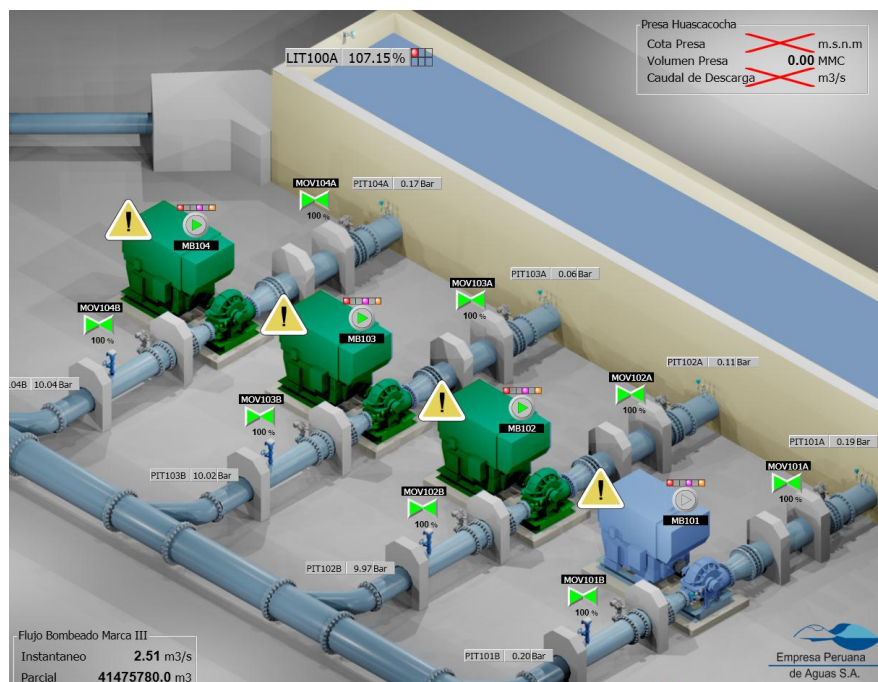


Ilustración 61: Nivel máximo.



Ilustración 62: Nivel mínimo.

Alarma para nivel mínimo:

Trabaja con la misma boya en la poza de succión para un nivel mínimo de 90% equivalente a 3.42m de altura, y con la implementación de las alarmas sonoras nos permitirá operar las unidades de bombeo libre de cavitación.

4.4.2 Nuevos Modos de Operación.

Ya con la implementación de las mejoras para el óptimo rendimiento del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac, y según el registro de datos de la estación de bombeo, procederemos a graficar el nuevo punto de operación del sistema de impulsión.

Modelo de procedimiento de operación en función a conseguir un rendimiento óptimo o punto de operación eficiente del sistema.

Según el análisis descrito para Mejorar el Rendimiento Hidráulico de la Estación de Bombeo del Proyecto de Derivación Huascacocha – Rímac. Surge la necesidad de optar por un nuevo procedimiento de operación en donde se puedan dar las condiciones para encontrar un punto de operación adecuado que conlleve así un rendimiento óptimo de todo el sistema de impulsión.

Para lo descrito, se tomará como medida la implementación de un procedimiento de operación de la estación de bombeo, donde conseguir la máxima eficiencia hidráulica es uno de los objetivos mencionados en el presente trabajo de titulación.



Ilustración 63: En la imagen se aprecia las 4 unidades de bombeo, lo que se busca es un rendimiento óptimo del sistema.

A continuación, el modo de operación que se propone y se hará efectivo su implementación:

4.4.2.1 Modo de operación para la estación de bombeo en función a Mejorar el Rendimiento Hidráulico de la Estación de Bombeo del Proyecto de Derivación Huascacocha –Rímac.

En esta parte describiremos como se llegará a conseguir las condiciones para operación de la estación de bombeo a fin de conseguir un mejor rendimiento hidráulico óptimo.

Se enfocará la descripción en tres puntos fundamentales como son:

1. Nivel de poza de succión.

En esta parte del modo de operación es necesario que el nivel de la poza de succión llegue a mantener un nivel de 107% en promedio, esto luego de los análisis realizados. Para esto se deberá tomar todas las acciones necesarias para suministrar el suficiente caudal desde la represa, ubicada a 30km, para mantener el nivel mencionado de la poza de succión.

El sustento teórico para señalar que la poza de succión de la estación de bombeo trabaje constantemente a un 107%, es:

Al elevar el nivel de agua en la poza de succión, se estaría aumentando el nivel de energía en dicha poza, disminuyendo la altura estática de elevación la cual de mantener constante el

nivel indicado de 107%, y con un cálculo hidráulico de descarga en las compuertas de la represa para que al agua se mantenga constante. Obtendremos el caudal requerido consiguiendo así un máximo rendimiento de las unidades de bombeo, sin necesidad de forzar las unidades de bombeo de la estación logrando así que dichas unidades no trabajen forzadas y por ende logrando reducir a una cantidad considerable el consumo de energía de la estación de bombeo, evitando un ciclo repetitivo de encendido y apagado de dichas unidades.

Esto podemos lograrlo de la mano del variador de velocidad con la que se cuenta en la estación de bombeo, ya que entre las ventajas que podemos conseguir es las distintas velocidades del motor para operación que se requiere, así como dar los ajustes necesarios para las metas establecidas de la operación diaria o mensual. Esto a través de la opción del flujo regulado del variador de velocidad, opción nos ayudara a mantener un nivel constante y óptimo de la poza de succión.

2. Succión

A la constante monitoreo de la poza de succión, y sus indicadores, se tiene que implementar el plan de actividades de limpieza de las canastillas de succión y evitar que, debido a la obstrucción del filtro, la succión presente presiones negativas.

En esta parte del modo de operación el fin es prevenir mediante actividades de limpieza la aparición de presiones negativas.

En esta parte se hace mención sobre el mantenimiento preventivo que se le da al canal de conducción en su total recorrido, ya que gran parte de las algas que llegan a la estación de bombeo son debido a que estas se proliferan en toda la sección del canal, sumando a esto las condiciones solares para su crecimiento de las algas en el canal. La solución inmediata que se alcanzo fue lo siguiente: Que oportunidad en donde se cierran las compuertas de la presa, el canal con la luz solar seca todas las algas, en un mínimo de 18 horas, para que al descargar el agua nuevamente, las algas caen por gravedad al canal, siendo purgadas en los sifones, y disminuyendo considerablemente la obstrucción en la poza de succión.

3. Perdidas de carga

Manejo constante de indicadores y a través de ella verificaciones constantes de perdida de carga, en todo el sistema de impulsión. Estas consistirán en inspecciones visuales externas e internamente.

Entonces podemos considerar una lista de parámetros al cual se debe hacer seguimiento para conseguir buenas condiciones para que la planta de trasvase pueda estar a buen rendimiento óptimo. Siempre recordando que los demás parámetros también son importantes.

4.4.2.2 Se realizará el seguimiento a los parámetros descritos:

a). Prevenir que estos parámetros mencionados no registren presiones negativas:

- Presión de succión de la unidad de bombeo N° 1.
- Presión de succión de la unidad de bombeo N° 2.
- Presión de succión de la unidad de bombeo N° 3.
- Presión de succión de la unidad de bombeo N° 4.

b). Buscar establecer un nivel de poza constante:

- Garantizar un flujo constante de ingreso de agua a la poza de succión.
- Nivel promedio de la poza de succión a 107%.

c). Presión de línea principal:

- Presión de impulsión de las unidades de bombeo
- Presión de impulsión del sistema.
- Verificación de pérdidas de presión en la línea.

d). Medidores de Flujo: flujómetros.

- Medidor de caudal electromagnético zona 500.

En este nuevo modo de operación el operador contara con la responsabilidad de mantener dichas nuevas condiciones de operación. Previendo así mediante las mejoras implementadas la alteración de estas.

Se creó el siguiente formato para seguimiento de las condiciones de operación.

Tabla 42: Formato de seguimiento para monitoreo de indicadores de buenas condiciones de operación.

MEJORA DEL RENDIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL PROYECTO DE DERIVACIÓN HUASCACOCHA – RÍMAC.												Elaborado por: Eric Cuellar A. Revisión: 1.0 Fecha Rev.: 01/05/2017				
CONTROL DIARIO DE OPERACIÓN DE UNIDADES DE BOMBEO ESTACIÓN DE BOMBEO.																
Turno Fecha / / De a horas Operador: _____												<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Volumen Programado (m³) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; color: red; font-size: 1.2em;"> 227150 </div>				
Hora	Caudal Estación de Bombeo (m ³ /s)	Caudal Marca III (m ³ /s)	Nivel Poza Succión (%)	Presión Línea de Impulsión (Bar)	Compuerta - Represa		Unidades de bombeo									
					Apertura (cm)	Nivel de Presa (msnm)	BOMBA N° 1		BOMBA N° 2		BOMBA N° 3		BOMBA N° 4		Observación.	
							Presión de succión	Impulsión (Bar)	Presión de succión	Impulsión (Bar)	Presión de succión	Impulsión (Bar)	Presión de succión	Impulsión (Bar)		
00:00																
01:00																
02:00																
03:00																
04:00																
05:00																
06:00																

Interpretando Tabla N° 65:

El crear la tabla mencionada tiene como fin registrar los parámetros de operación en el marco de establecer buenas condiciones para el sistema de impulsión, ya sea como el nivel de la poza de succión o las presiones de succión, de este registro diario se conseguirán monitorear los parámetros reales de operación, cabe mencionar que el proyecto de derivación Huascacocha – Rímac cuenta con su propio formato de registro diario de datos de operación, en donde abarca todo sus parámetros ya sean desde la parte mecánica, eléctrica, electrónica, etc. Con el presente trabajo de titulación, se busca registrar dichos datos en marco de la mecánica de fluidos y/o hidráulica. Ya que, en función a aquellos datos, buscamos mejorar el rendimiento de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha – Rímac.

4.4.2.3 Control de descarga de la represa.

Calculo de caudal de descarga en compuertas

Ecuación: $Q = C_d b a \sqrt{2gy_1}$ Caudal en m³/s

b: Ancho de la compuerta

a: Apertura de compuerta

Y1: Tirante aguas arriba compuerta (cota del embalse).

Cd: Coeficiente de descarga

Cc: Coeficiente de contracción

Cv: Coeficiente de velocidad.

Para fines prácticos

$$C_c = 0.62$$

$$C_v = 0.96 + 0.079 \frac{a}{y_1}$$

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{y_1}}} C_c C_v$$

$$Y_2 = C_c \times a$$

$$L = a/C_c$$

(Chow, 2004)

Ejemplo: A mayor cota del embalse se necesitará una menor apertura de la compuerta para un determinado caudal. (El nivel de apertura de la compuerta será "a"). (Chow, 2004)

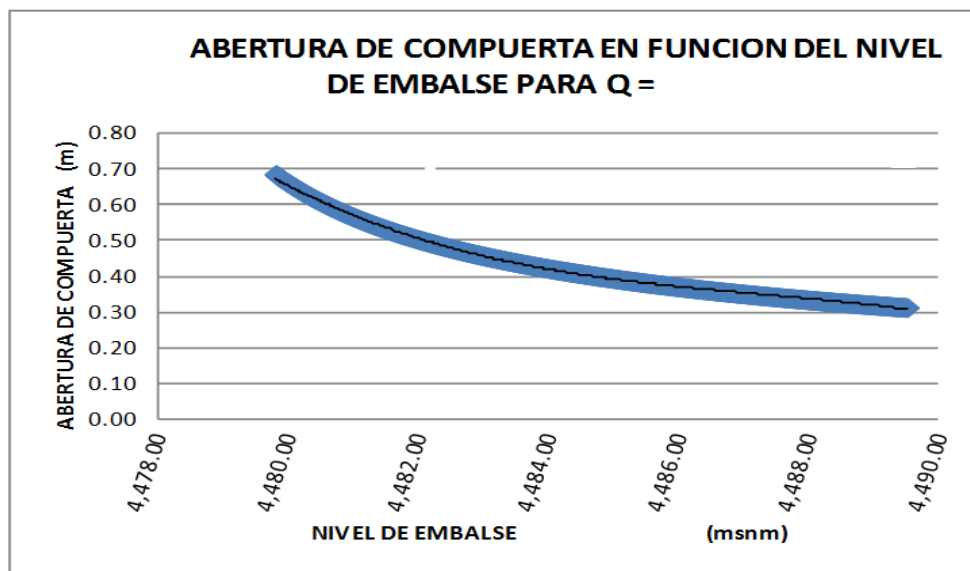


Ilustración 64: En la imagen se aprecia las curvas de descargar vs cota en msnm. (Epasa).

Nivel Máximo: 4489.50

Nivel Mínimo: 4479.80

Nivel del piso: 4477.23

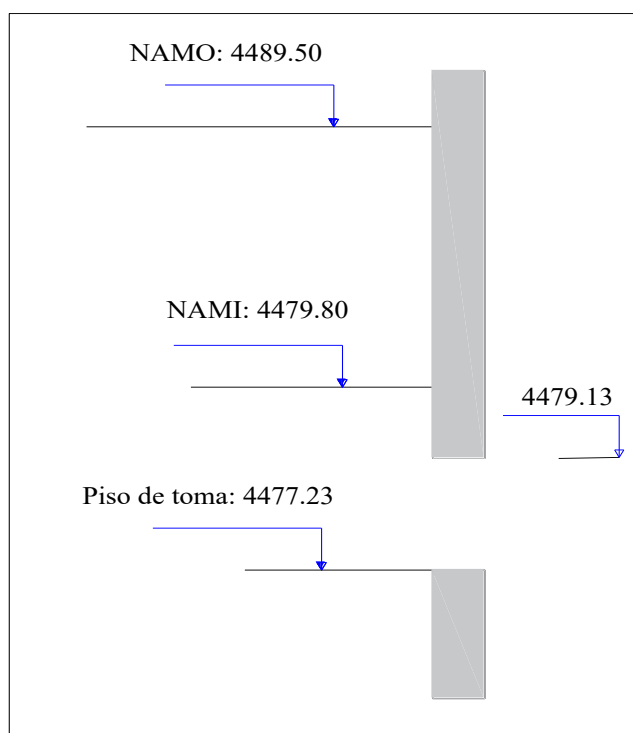


Ilustración 65: Detalle de las cotas de la compuerta de operación.

4.4.3 Referencia de normas ISO & ASME.

Referencia sobre las normas. ISO; ASME en base al mejoramiento del rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha –Rímac. Como son:

Las bombas rotodinámicas, pruebas de aceptación de rendimiento hidráulico – grados 1, 2 y 3 (ISO 9906:2012). (Estandarización., Edición 2012)

ISO/ASME 14414. (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos).

Revisión de energía, registrar y mantener una revisión de energía. La metodología y los criterios utilizados para desarrollar la revisión energética deberán estar documentados. Para desarrollar la revisión de energía, la organización debe: (Mecánicos, Edición 2015)

En función del uso y consumo de energía, identificar las áreas de uso de energía significativo. (Mecánicos, Edición 2015)

identificar las instalaciones, equipos, sistemas, procesos y personal que trabajan para o en nombre de la organización y que afectan significativamente el uso y consumo de energía;

Determinar el rendimiento energético actual de las instalaciones, equipos, sistemas y procesos relacionados con los usos de energía significativos identificados considerando lo siguiente: (Mecánicos, Edición 2015)

- Programa de prueba
- Equipo de prueba
- Registros e informes
- Arreglos de prueba
- Condiciones de prueba
- Pruebas NPSH
- Análisis
- Traducción de los resultados de la prueba a las condiciones de la garantía

Alcances:

Esta norma internacional especifica las pruebas de rendimiento hidráulico para la aceptación por parte de los clientes de las bombas rotodinámicas (bombas centrífugas, de flujo mixto y axiales, en lo sucesivo denominadas "bombas"). (Estandarización., Edición 2012)

Este Estándar Internacional está destinado a ser utilizado para pruebas de aceptación de bombas en instalaciones de prueba de bombas, tales como instalaciones o laboratorios de pruebas de bombas de los fabricantes. (Mecánicos, Edición 2015)

Se puede aplicar a bombas de cualquier tamaño y a cualquier líquido bombeado que se comporte como agua limpia y fría. (Mecánicos, Edición 2015)

Esta Norma Internacional especifica tres niveles de aceptación:

- grados 1B, 1E y 1U con una tolerancia más ajustada;
- grados 2B y 2U con tolerancia más amplia;
- grado 3B con una tolerancia aún más amplia.

Esta norma internacional se aplica a una bomba en sí misma sin accesorios o a una combinación de una bomba asociada con todas o parte de sus conexiones aguas arriba y / o aguas abajo. (Mecánicos, Edición 2015)

Referencias normativas

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento referenciado (incluidas las enmiendas). (Mecánicos, Edición 2015)

ISO 17769-1, Bombas de líquido e instalación - Términos generales, definiciones, cantidades, símbolos de letras y unidades.

Parte 1: Bombas de líquido

ISO 17769-2, Bombas de líquido e instalación - Términos generales, definiciones, cantidades, símbolos de letras y unidades.

prueba de rendimiento de fábrica

prueba de bombeo realizada para verificar el rendimiento inicial de las bombas nuevas, así como para verificar la repetitividad de las unidades de producción, la precisión de los cálculos de los ajustes del impulsor, el rendimiento con materiales especiales, etc.

Una prueba de rendimiento típica consiste en la medición del flujo, la carga y la entrada de potencia a la bomba o al motor de prueba de la bomba. Se pueden incluir medidas adicionales, como NPSH, según lo acordado. Se entiende que una prueba de fábrica significa una prueba en una instalación de prueba dedicada, a menudo en la planta de un fabricante de la bomba o en una instalación de prueba de la bomba independiente.

El fabricante de la bomba realiza la prueba, evalúa la aceptación de la bomba y produce un documento de prueba de bomba firmado. La ventaja de esta prueba es la misma que se ve en la prueba no presencial. En comparación con una prueba testigo, esta prueba es sustancialmente menos costosa y a menudo conduce a la entrega acelerada de la bomba al usuario final. (Estandarización., Edición 2012)

Las Bombas son máquinas que transforman la potencia mecánica en potencia hidráulica

$$P_h = Q \times h \times \rho \times g$$

La Potencia Hidráulica es Proporcional a la Carga por el Gasto

Muchas bombas se encuentran trabajando fuera de su zona óptima de diseño, lo que se traduce en bajas eficiencias de operación. (Mecánicos, Edición 2015)

Sobre el Motor:

Tensión media (3000; 6600 VCA, 50; 60 Hz) con $2p = 4,6,8$ número de polos, suministrado directamente con tres.

Parámetros técnicos (Epasa)

Potencia nominal	P 1450 kW
Par nominal	Mn 11 540 Nm
Tensión de alimentación	3 x 4 160 V
Eficiencia	η 97,2%
Factor de potencia	$\cos \phi$ 0,87
Corriente nominal	Iln 237,0 A
Frecuencia nominal	f 60 Hz
Velocidad nominal	n 1190 min ⁻¹

2.2 Diseño y dimensiones.

Tipo de construcción	IM B3
Grado de protección	IP55
Enfriamiento	IC611
Dirección de rotación	Ambas vías
Masa	7 800 kg
Clase de aislamiento	f

Las designaciones de tipo consisten en las letras y los números, como en el ejemplo dado para el tipo de motor MAA:

M motor de media tensión

A motor de inducción, jaula, estructura cerrada

A motor de pie

450 - nivel (mm) de la altura del eje del eje, acc. a pie de motor montado

6 - número de polos

s - ejecución especial

El motor de la serie MAA, debido a su clase de protección, se puede utilizar en condiciones de aire ambiente contaminado.

El polvo del aire no debe exceder de 10 mg / m³.

Sin embargo, no hay contaminación agresiva, como ácido y alcalino.

Se permiten vapores. La atmósfera tampoco puede contener mezclas explosivas ni variar polvo pequeño.

partículas Para uso en exteriores, use protección para techos contra condiciones climáticas directas, como lluvia, nieve.

o sol

Las condiciones operativas del motor implican:

-20 ° C a +15 ° C

-hasta el 95% de HR

- altitud hasta 4540 m sobre el nivel del mar.

Descripción del tipo de bomba HGTF

El HGTF es una bomba de caja dividida horizontal. La bomba se divide horizontalmente sobre él.

Los impulsores están equilibrados de acuerdo con la norma ISO 1940/1.

Pump casing/covers(s): Ductile Cast Iron- EN-GJS-500-7-ENJS1050-DIN-EN1563.

Impeller(s): Nickel Aluminium Bronze F60/F70- CuAl10Fe5Ni5-C-CC333G-NEN-EN 1982.

Pump Shaft(s): Stainless steel 4122-x39 CrMo 17-1-1.4122(Stahisch)-DIN EN 10088-1-2-3/NEN-EN 10028.

aspectos. (Epasa)

Proyecto:	Derivación Huascacocha-Rímac.
Tipo de bomba:	HGTF1-450.800C
Nº de serie de la bomba.:	55622, 55623, 55624, 55625
Capacidad:	3240 m3 / h
Medio:	agua
Medio de densidad:	1000 kg / m3
Cabezal total:	106 m.l.c.
Revoluciones por minuto:	1190 r.p.m.
Potencia en el punto de trabajo:	1060 kW
Tipo de motor:	DAC, jaula de ardilla, MAA 500-6s
Motor de potencia:	1450 kW.
Tipo de acoplamiento:	N-Eupex A440
Peso de la bomba:	3700 kg.
Peso del motor:	7800 kg.

4.4. Rendimiento 2016.

Se muestra los resultados en las tablas de rendimiento en la parte de los anexos.

4.5 Resultados 2016.

Tabla 43: Resultados cálculos operación 2016.

Q			D (m)	D2.6 3	C	S0.5 4	S (m/m))	S (m/100m)	L (m)	hf (m)	Vel. (m/s)	V²/2g	Altura estática a	Unidades en Operación	Pérdida acc. Succ. Desc.	Perdida acc. Impulsión Principal	Altura Estática a + hf+acc	Altura dinámica Total
3.47	2.63	0.84	1.2	1.615	145	0.053	0.004	0.432	400	1.73	3.06	0.479	99.22	4	3.190	8.25	112.38	112.86
3.46	2.63	0.83	1.2	1.615	145	0.053	0.004	0.430	400	1.72	3.06	0.478	99.22	4	3.180	8.22	112.34	112.82
3.46	2.63	0.83	1.2	1.615	145	0.053	0.004	0.430	400	1.72	3.06	0.477	99.22	4	3.175	8.21	112.32	112.80
3.46	2.63	0.82	1.2	1.615	145	0.053	0.004	0.429	400	1.72	3.06	0.476	99.22	4	3.171	8.19	112.30	112.78
3.45	2.63	0.82	1.2	1.615	145	0.053	0.004	0.429	400	1.72	3.05	0.476	99.22	4	3.168	8.19	112.29	112.77
3.45	2.63	0.82	1.2	1.615	145	0.053	0.004	0.427	400	1.71	3.05	0.474	99.22	4	3.157	8.16	112.24	112.72
3.44	2.63	0.81	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.426	400	1.70	3.04	0.472	99.22	4	3.144	8.12	112.19	112.66
3.43	2.63	0.80	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.424	400	1.70	3.03	0.470	99.22	4	3.130	8.08	112.13	112.60
3.42	2.63	0.78	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.420	400	1.68	3.02	0.466	99.22	4	3.104	8.01	112.01	112.48
3.41	2.63	0.78	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.419	400	1.67	3.01	0.463	99.22	4	3.091	7.97	111.96	112.42
3.41	2.63	0.78	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.418	400	1.67	3.01	0.463	99.22	4	3.089	7.97	111.95	112.41
3.39	2.63	0.76	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.414	400	1.65	2.99	0.458	99.22	4	3.055	7.87	111.80	112.26
3.38	2.63	0.75	1.2	1.615	145	0.052	0.004	0.412	400	1.65	2.99	0.456	99.22	4	3.044	7.84	111.75	112.21
3.36	2.63	0.73	1.2	1.615	145	0.051	0.004	0.407	400	1.63	2.97	0.450	99.22	4	3.012	7.74	111.61	112.06
3.32	2.63	0.69	1.2	1.615	145	0.051	0.004	0.399	400	1.59	2.94	0.440	99.22	4	2.953	7.56	111.33	111.77
3.25	2.63	0.62	1.2	1.615	145	0.050	0.004	0.383	400	1.53	2.87	0.421	99.22	4	2.856	7.25	110.86	111.28
3.11	2.63	0.48	1.2	1.615	145	0.047	0.004	0.353	400	1.41	2.75	0.386	99.22	4	2.692	6.63	109.96	110.34
3.03	2.63	0.40	1.2	1.615	145	0.046	0.003	0.336	400	1.34	2.68	0.365	99.22	4	2.616	6.29	109.47	109.83
2.98	2.63	0.35	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.327	400	1.31	2.64	0.355	99.22	4	2.581	6.11	109.22	109.57
2.94	2.63	0.31	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.319	400	1.28	2.60	0.346	99.22	4	2.553	5.95	109.00	109.34

Tabla 44: Resultados cálculos operación 2016.

Q			D (m)	D ^{2.6} 3	C	S ^{0.54}	S (m/m)	S (m/100m)	L (m)	hf (m)	Vel. (m/s)	V ² /2g	Altura estática	Unidades en Operación	Pérdida acc. Succ. Desc.	Perdida acc. Impulsión Principal	Altura Estática + hf+acc	Altura dinámica Total
2.94	2.63	0.31	1.2	1.615	145	0.045	0.003	0.318	400	1.27	2.60	0.344	99.22	4	2.549	5.92	108.96	109.30
2.88	2.63	0.25	1.2	1.615	145	0.044	0.003	0.307	400	1.23	2.55	0.332	99.22	4	2.517	5.71	108.67	109.00
2.83	2.63	0.20	1.2	1.615	145	0.043	0.003	0.296	400	1.19	2.50	0.319	99.22	4	2.491	5.49	108.39	108.70
2.76	2.63	0.13	1.2	1.615	145	0.042	0.003	0.284	400	1.14	2.44	0.305	99.22	4	2.468	5.24	108.06	108.37
2.61	1.75	0.86	1.2	1.615	145	0.040	0.003	0.255	400	1.02	2.31	0.272	99.22	3	2.412	4.68	107.33	107.60
2.61	1.75	0.85	1.2	1.615	145	0.040	0.003	0.254	400	1.02	2.30	0.271	99.22	3	2.402	4.66	107.30	107.57
2.60	1.75	0.85	1.2	1.615	145	0.040	0.003	0.254	400	1.02	2.30	0.270	99.22	3	2.397	4.65	107.28	107.55
2.60	1.75	0.85	1.2	1.615	145	0.040	0.003	0.254	400	1.01	2.30	0.270	99.22	3	2.395	4.64	107.27	107.54
2.58	1.75	0.83	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.250	400	1.00	2.28	0.266	99.22	3	2.358	4.57	107.15	107.41
2.58	1.75	0.82	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.249	400	1.00	2.28	0.265	99.22	3	2.351	4.56	107.13	107.39
2.57	1.75	0.82	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.248	400	0.99	2.27	0.264	99.22	3	2.343	4.54	107.10	107.36
2.56	1.75	0.80	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.246	400	0.98	2.26	0.261	99.22	3	2.321	4.49	107.02	107.28
2.55	1.75	0.80	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.245	400	0.98	2.26	0.260	99.22	3	2.311	4.47	106.98	107.25
2.55	1.75	0.79	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.244	400	0.98	2.25	0.259	99.22	3	2.301	4.45	106.95	107.21
2.54	1.75	0.79	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.243	400	0.97	2.25	0.258	99.22	3	2.293	4.44	106.92	107.18
2.53	1.75	0.78	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.242	400	0.97	2.24	0.256	99.22	3	2.277	4.40	106.87	107.12
2.53	1.75	0.77	1.2	1.615	145	0.039	0.002	0.241	400	0.96	2.24	0.255	99.22	3	2.269	4.39	106.84	107.09
2.49	1.75	0.74	1.2	1.615	145	0.038	0.002	0.234	400	0.94	2.20	0.248	99.22	3	2.209	4.26	106.62	106.87
2.47	1.75	0.72	1.2	1.615	145	0.038	0.002	0.231	400	0.92	2.19	0.244	99.22	3	2.179	4.19	106.51	106.76
2.47	1.75	0.71	1.2	1.615	145	0.038	0.002	0.230	400	0.92	2.18	0.243	99.22	3	2.172	4.18	106.49	106.73

Tabla 45: Resultados cálculos operación 2016.

Q			D (m)	D2.6 3	C	S0.54	S (m/m)	S (m/100m)	L (m)	hf (m)	Vel. (m/s)	V ² /2g	Altura estática	Unidades en Operación	Pérdida acc. Succ. Desc.	Perdida acc. Impulsión Principal	Altura Estática + hf+acc	Altura dinámica Total
2.45	1.75	0.70	1.2	1.615	145	0.037	0.002	0.227	400	0.91	2.17	0.240	99.22	3	2.150	4.12	106.40	106.64
2.44	1.75	0.69	1.2	1.615	145	0.037	0.002	0.225	400	0.90	2.16	0.238	99.22	3	2.133	4.09	106.34	106.58
2.43	1.75	0.68	1.2	1.615	145	0.037	0.002	0.224	400	0.90	2.15	0.236	99.22	3	2.121	4.06	106.30	106.53
2.42	1.75	0.67	1.2	1.615	145	0.037	0.002	0.222	400	0.89	2.14	0.234	99.22	3	2.103	4.02	106.23	106.46
2.41	1.75	0.66	1.2	1.615	145	0.037	0.002	0.221	400	0.88	2.13	0.233	99.22	3	2.096	4.00	106.20	106.43
2.39	1.75	0.63	1.2	1.615	145	0.036	0.002	0.217	400	0.87	2.11	0.227	99.22	3	2.059	3.91	106.06	106.28
2.37	1.75	0.62	1.2	1.615	145	0.036	0.002	0.214	400	0.85	2.10	0.224	99.22	3	2.036	3.85	105.96	106.19
2.34	1.75	0.58	1.2	1.615	145	0.036	0.002	0.208	400	0.83	2.07	0.218	99.22	3	1.994	3.75	105.80	106.01
2.32	1.75	0.57	1.2	1.615	145	0.035	0.002	0.206	400	0.82	2.05	0.215	99.22	3	1.976	3.70	105.72	105.94
1.75	0.88	0.87	1.2	1.615	145	0.027	0.001	0.122	400	0.49	1.55	0.122	99.22	2	1.626	2.10	103.44	103.56
1.74	0.88	0.87	1.2	1.615	145	0.027	0.001	0.121	400	0.48	1.54	0.121	99.22	2	1.613	2.08	103.40	103.52
1.72	0.88	0.84	1.2	1.615	145	0.026	0.001	0.118	400	0.47	1.52	0.118	99.22	2	1.574	2.03	103.30	103.42
1.71	0.88	0.83	1.2	1.615	145	0.026	0.001	0.116	400	0.46	1.51	0.116	99.22	2	1.545	2.00	103.23	103.34
1.69	0.88	0.82	1.2	1.615	145	0.026	0.001	0.115	400	0.46	1.50	0.114	99.22	2	1.523	1.97	103.17	103.28
1.65	0.88	0.77	1.2	1.615	145	0.025	0.001	0.109	400	0.44	1.46	0.108	99.22	2	1.449	1.87	102.97	103.08
1.59	0.88	0.72	1.2	1.615	145	0.024	0.001	0.102	400	0.41	1.41	0.101	99.22	2	1.362	1.74	102.74	102.84
0.85	0.00	0.85	1.2	1.615	145	0.013	0.000	0.032	400	0.13	0.75	0.029	99.22	1	0.769	0.50	100.62	100.64
0.85	0.00	0.85	1.2	1.615	145	0.013	0.000	0.032	400	0.13	0.75	0.029	99.22	1	0.765	0.49	100.61	100.64
0.83	0.00	0.83	1.2	1.615	145	0.013	0.000	0.030	400	0.12	0.73	0.027	99.22	1	0.729	0.47	100.54	100.57

A continuación, se muestra los registros obtenidos del cuaderno de control de la operación 2016, para poder graficar en función a la Potencia.

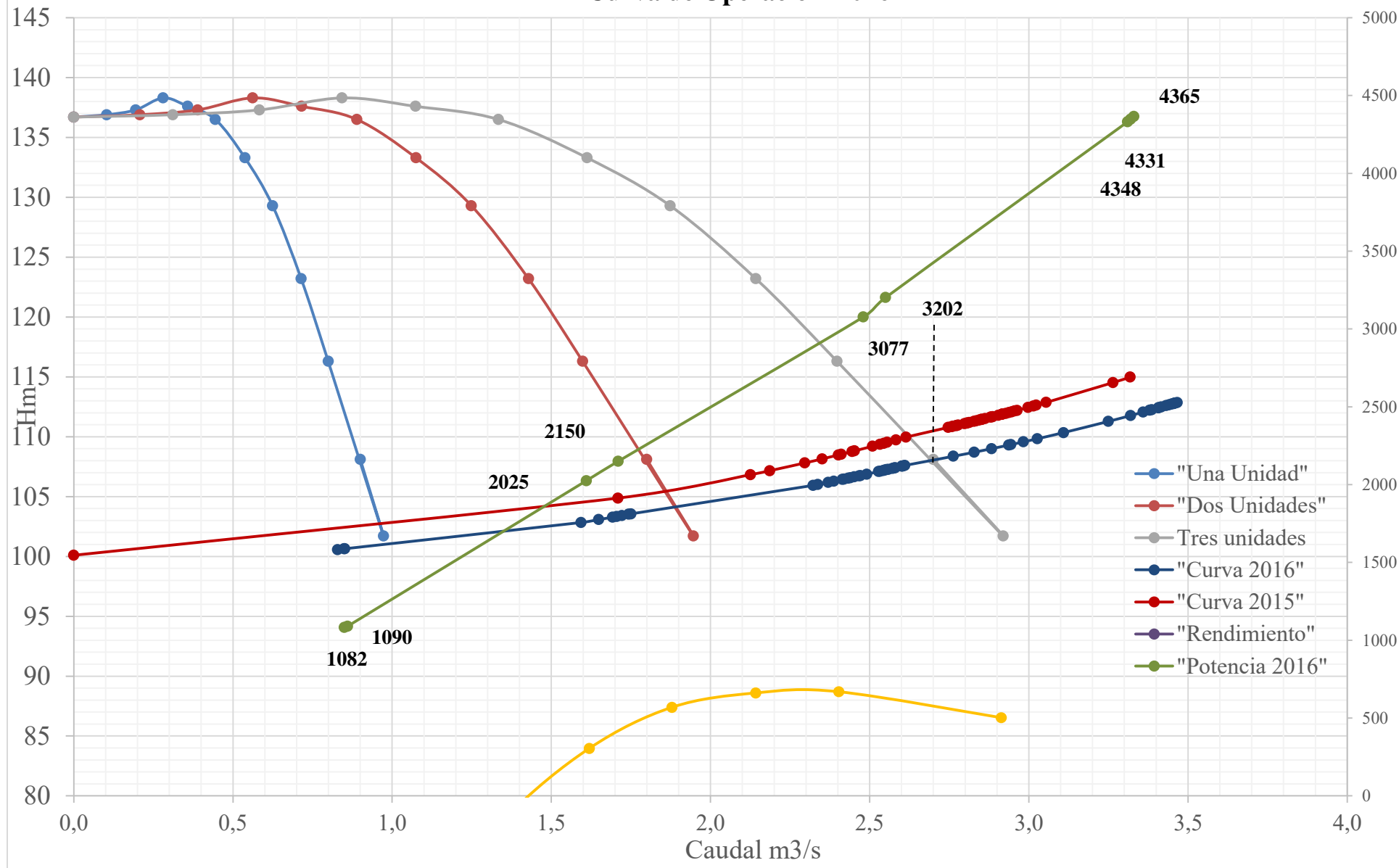
Tabla 46: Registro de Operación 2016 “Potencia”. (Epasa)

2016						
Fecha	Estación m³/s	Marca III m³/s	nivel poza %	H(m.c.a)	Potencia CM3 (kw)	Eficiencia
2/07/2016 16:00	3.42	3.33	106.35	111.84542	4365	83.65%
9/08/2016 12:00	3.36	3.32	106.59	111.77348	4348	83.67%
29/08/2016 10:00	3.34	3.31	105.15	111.70192	4331	83.70%
1/08/2016 16:00	2.59	2.55	104.14	107.56086	3202	83.98%
30/08/2016 02:00	2.5	2.48	103.04	106.27323	3077	83.97%
5/07/2016 22:00	1.76	1.71	106	106.52747	2150	83.07%
30/08/2016 00:00	1.62	1.61	105.01	106.44323	2025	82.97%
31/10/2016 02:00	0.85	0.86	109	106.21759	1090	82.16%
30/09/2016 14:00	0.84	0.85	105	105.24007	1082	81.05%

Dichos registros se muestran del cuaderno de control de operación 2016 del proyecto Huascacocha.

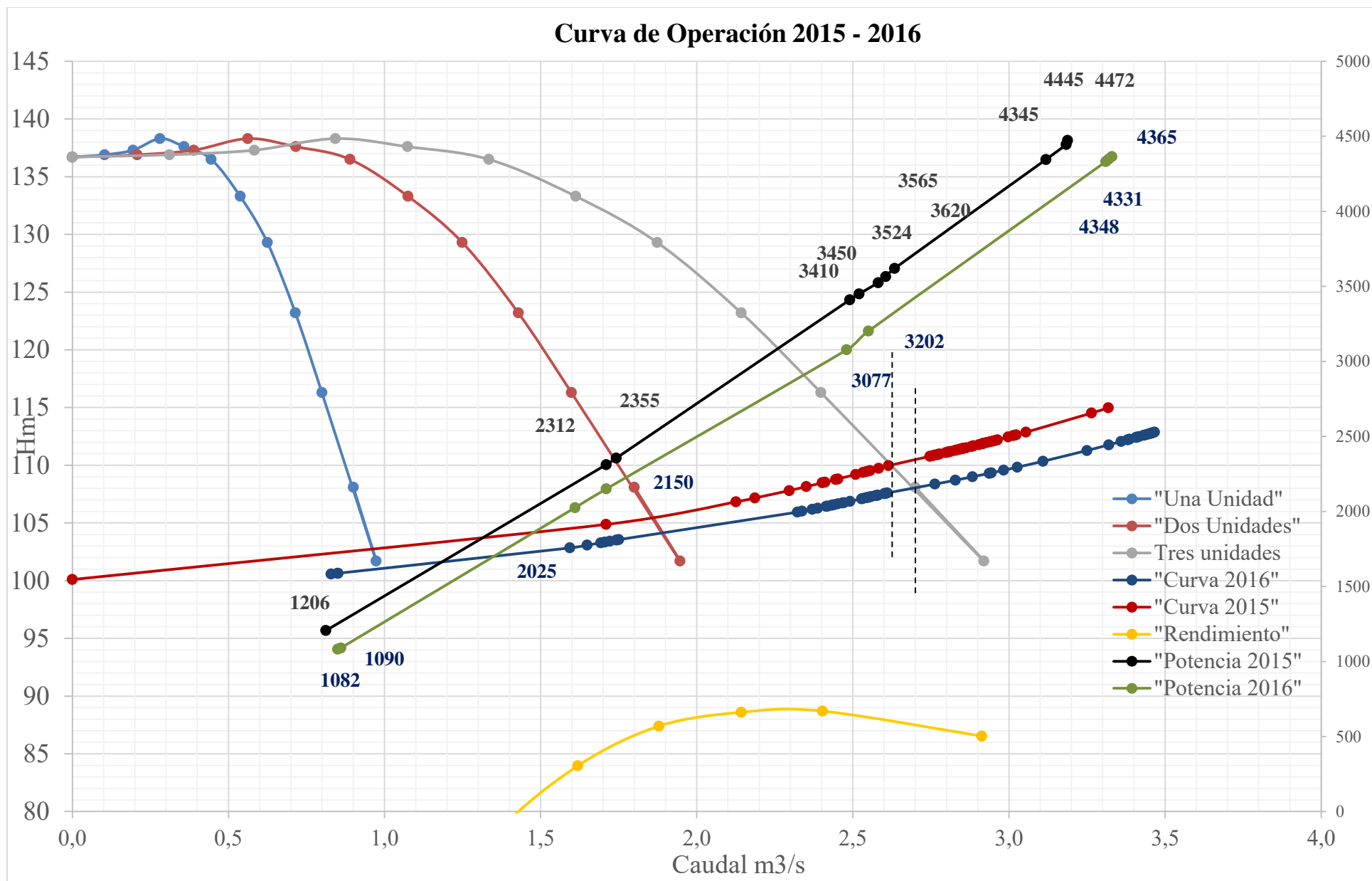
Interpretación de resultados: Según los resultados en la tabla N^a 46, concluimos que la estación de bombeo Huascacocha opera con una eficiencia de hasta 84%. Sobre las potencias, éstas son datos reales de operación obtenidas del cuaderno de control de registro de la estación de bombeo, ya que con los siguientes datos mostrados se pudo conseguir el rendimiento mostrado. Para la altura de elevación se tiene que afirmar que es aceptable, las cuales se consiguieron a partir de mejorar las condiciones de operación del sistema de impulsión de la estación de bombeo Huascacocha, como por ejemplo mantener un nivel de poza de hasta 104.14% donde se obtuvo un máximo rendimiento de 84% registrado el día 01/08/2016. Sobre la diferencia de los flujómetros de la estación y en el punto Marca III, ésta se consiguió al reducirlo considerablemente en función al 2015. También se muestra que la presión de impulsión está en un rendimiento óptimo. Por ultimo interpolando para 2.63 m³/s, se obtiene una potencia de 3320 kw, muy por debajo en comparación a los valores de operación del 2015.

Curva de Operación 2016



Gráfica 5: Se muestra las curva de operación del periodo 2016.

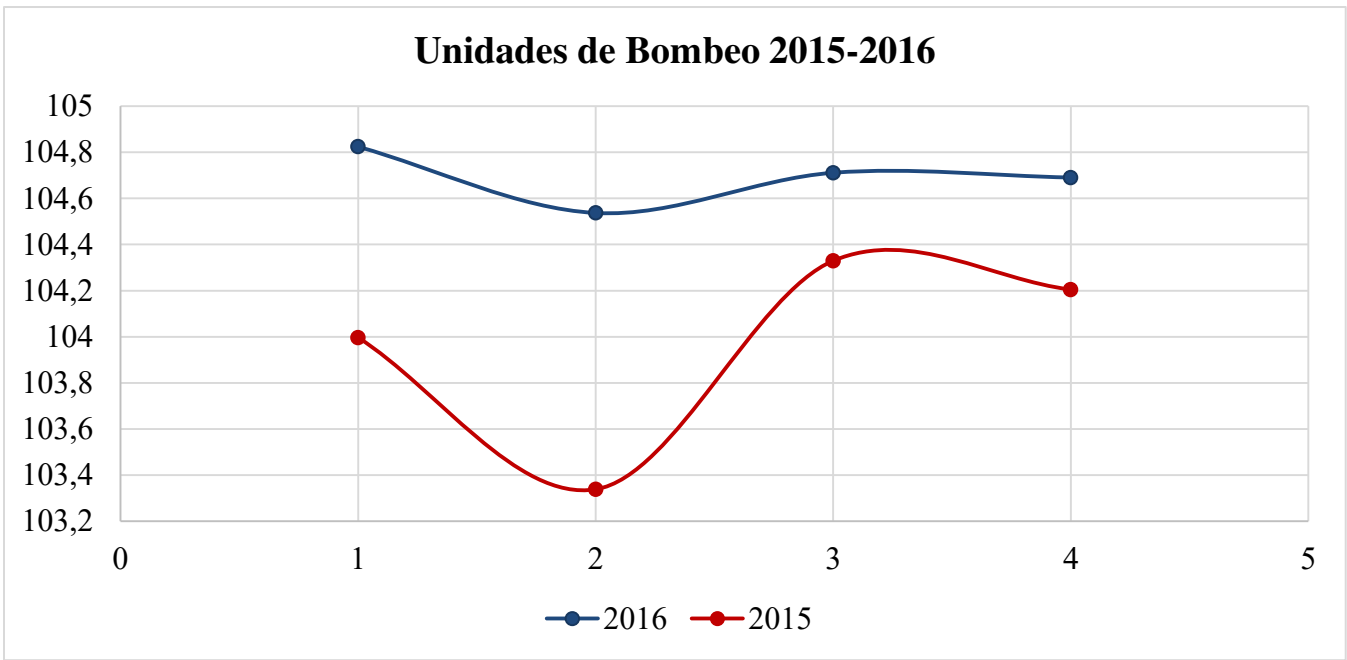
Curva de Operación 2015 - 2016



Gráfica 6: Se muestra las curvas de operación del periodo 2015 vs 2016.

Se muestra también un cuadro comparativo de los niveles promedios de la altura real de cada unidad de bombeo para los periodos de operación 2015 y 2016.

	2015	2016
Unidad N° 1	promedio H: 103.99665 m	promedio H: 104.82398 m
Unidad N° 2	promedio H: 103.33872 m	promedio H: 104.53686 m
Unidad N° 3	promedio H: 104.32955 m	promedio H: 104.71126 m
Unidad N° 4	promedio H: 104.20466 m	promedio H: 104.69046 m



Gráfica 7: Se muestra la variación de las alturas reales para los periodos 2015-2016.

4.5.1. Resultados de las implementaciones

4.5.1.1. Lectura de medidores de caudal después de las mejoras.

A continuación, se muestra las siguientes tablas donde se aprecia una considerable disminución en las lecturas de ambos medidores de caudal, esto después de las mejoras que se implementaron para la estación de bombeo Huascacocha.

Tabla 47: Lectura de medidor de caudal, junio. (Epasa)

FECHA	FLUJO			SUCCIÓN				NIVEL POZA
	ESTACIÓN	MARCA 3	DIFERENCIA	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
06-05-2016 22:00:00	3.4465	3.4443	0.0023	0.1310	0.1428	0.1288	0.1586	104.3008
06-05-2016 22:05:00	3.4224	3.4200	0.0023	0.1068	0.1176	0.1043	0.1342	97.2657
06-05-2016 22:10:00	3.4306	3.4286	0.0020	0.0866	0.0961	0.0835	0.1122	91.4273
06-05-2016 22:55:00	3.2967	3.2919	0.0048	0.1473	0.1596	0.1453	0.1798	108.8831
06-05-2016 22:55:00	3.2967	3.2919	0.0048	0.1473	0.1596	0.1453	0.1798	108.8831
06-05-2016 23:00:00	3.4475	3.4432	0.0043	0.1149	0.1266	0.1130	0.1435	99.7150
06-05-2016 23:05:00	3.4386	3.4334	0.0051	0.0937	0.1033	0.0917	0.1207	93.6542
06-05-2016 23:10:00	2.5654	2.5615	0.0039	0.0752	0.0840	0.0728	0.1299	87.5789
06-06-2016 00:00:00	2.6409	2.6378	0.0031	0.1487	0.1597	0.1473	0.2048	109.0298
06-06-2016 00:05:00	3.4511	3.4495	0.0016	0.1179	0.1279	0.1151	0.1459	100.6000
06-06-2016 02:10:00	3.4733	3.4682	0.0051	0.1215	0.1278	0.1154	0.1450	100.8926
06-06-2016 02:15:00	3.4191	3.4164	0.0027	0.1000	0.1061	0.0942	0.1230	94.6971
06-06-2016 02:20:00	2.8718	2.9113	-0.0395	0.1058	0.0827	0.0719	0.1007	88.1918

Tabla 48: Lectura de medidor de caudal, Agosto. (Epasa)

FECHA	FLUJO			SUCCIÓN				NIVEL POZA
	ESTACIÓN	MARCA 3	DIFERENCIA	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
08-01-2016 16:05:00	2.4520	2.4492	0.0027	-0.0810	0.0173	0.1049	0.1694	99.0680
08-01-2016 16:10:00	2.4680	2.4636	0.0044	-0.0749	0.0290	0.1167	0.1819	102.4906
08-01-2016 16:15:00	2.4714	2.4685	0.0029	-0.0699	0.0363	0.1247	0.1900	104.7601
08-01-2016 16:20:00	2.4808	2.4771	0.0036	-0.0653	0.0421	0.1303	0.1961	106.5851
08-01-2016 16:25:00	2.4915	2.4860	0.0055	-0.0620	0.0471	0.1356	0.2010	107.8537
08-21-2016 00:40:00	2.6175	2.6138	0.0037	0.1138	0.1165	0.1209	0.1560	95.1875
08-21-2016 00:45:00	2.6154	2.6121	0.0034	0.1261	0.1287	0.1326	0.1680	98.6469
08-21-2016 00:50:00	2.6285	2.6252	0.0032	0.1356	0.1380	0.1412	0.1776	101.4843
08-21-2016 00:55:00	2.6165	2.6125	0.0040	0.1429	0.1452	0.1462	0.1847	103.5880
08-21-2016 01:20:00	2.6331	2.6296	0.0035	0.1477	0.1515	0.1522	0.1904	105.2101
08-21-2016 01:25:00	2.6289	2.6253	0.0036	0.1529	0.1555	0.1567	0.1949	106.5245
08-21-2016 01:30:00	2.6350	2.6322	0.0027	0.1561	0.1593	0.1585	0.1988	107.6090
08-21-2016 01:35:00	2.6404	2.6379	0.0025	0.1610	0.1629	0.1630	0.2026	108.7192

Tabla 49: Lectura de medidor de caudal, Noviembre. (Epasa).

FECHA	FLUJO			SUCCIÓN				NIVEL POZA
	ESTACIÓN	MARCA 3	DIFERENCIA	BOMBA 1	BOMBA 2	BOMBA 3	BOMBA 4	
11-01-2016 09:10:00	2.5640	2.5618	0.0023	0.1502	0.0973	0.1077	0.1369	96.0086
11-01-2016 09:15:00	2.5810	2.5781	0.0029	0.1622	0.1089	0.1194	0.1492	99.3510
11-01-2016 09:20:00	2.5856	2.5837	0.0018	0.1713	0.1178	0.1267	0.1575	101.8135
11-01-2016 09:25:00	2.5906	2.5869	0.0036	0.1782	0.1249	0.1330	0.1644	103.7931
11-01-2016 09:30:00	2.5911	2.5884	0.0027	0.1841	0.1310	0.1382	0.1697	105.4844
11-01-2016 09:35:00	2.5979	2.5950	0.0029	0.1889	0.1354	0.1437	0.1744	106.8410
11-01-2016 09:40:00	2.6013	2.5990	0.0023	0.1925	0.1389	0.1479	0.1785	107.8172
11-01-2016 13:25:00	2.5798	2.5755	0.0043	0.1456	0.0922	0.0935	0.1316	95.4468
11-01-2016 13:30:00	2.5879	2.5836	0.0042	0.1581	0.1046	0.1053	0.1433	99.0043
11-01-2016 13:35:00	2.5910	2.5892	0.0019	0.1674	0.1139	0.1143	0.1525	101.5515
11-01-2016 13:40:00	2.6042	2.5999	0.0044	0.1745	0.1201	0.1208	0.1602	103.5140
11-01-2016 13:45:00	2.5994	2.5960	0.0034	0.1807	0.1264	0.1271	0.1661	105.2895

4.5.1.2 Registro de operación 2016.

Tabla 50: Promedio de registro de operación 2016. (Epasa)

ítem	PROMEDIO AÑO 2016			
	Mes	P. IMPULSIÓN		Caudal
		Bar	m.c.a	
1	Junio	10.0575	102.5861	3.4032
2	Julio	9.8507	100.4769	3.3905
3	Setiembre	10.0851	102.8678	3.3796
4	Octubre	10.0800	102.8160	3.3777
5	Junio	10.0538	102.5486	3.3753
6	Noviembre	10.0460	102.4691	3.3747
7	Noviembre	10.0440	102.4491	3.3679
8	Agosto	10.0631	102.6439	3.3634
9	Setiembre	10.0840	102.8571	3.3311
10	Octubre	10.0574	102.5852	3.3305
11	Junio	10.0450	102.4587	3.3230
12	Setiembre	10.0770	102.7852	3.2852
13	Setiembre	10.0692	102.7059	3.2480
14	Agosto	10.0368	102.3751	3.1884
15	Octubre	9.9891	101.8885	3.0517
16	Julio	9.8432	100.4003	2.9739
17	Octubre	9.9681	101.6747	2.9120
18	Setiembre	9.9386	101.3738	2.8845
19	Agosto	10.0050	102.0508	2.8833
20	Noviembre	10.0050	102.0513	2.8133
21	Setiembre	9.9863	101.8606	2.7749
22	Octubre	9.9513	101.5035	2.7153
23	Noviembre	9.9360	101.3472	2.5577
24	Agosto	9.9471	101.4603	2.5555
25	Octubre	9.9529	101.5191	2.5511
26	Julio	9.9164	101.1468	2.5421
27	Junio	9.9420	101.4087	2.5328
28	Agosto	9.9437	101.4252	2.5308
ítem	PROMEDIO AÑO 2016			
	Mes	P. IMPULSIÓN		Caudal
		Bar	m.c.a	
29	Setiembre	9.9514	101.5042	2.5073
30	Noviembre	9.9328	101.3151	2.5071
31	Julio	9.9292	101.2777	2.5062
32	Junio	9.9396	101.3843	2.5058
33	Octubre	9.9357	101.3440	2.4841
34	Agosto	10.0414	102.4221	2.4812
35	Setiembre	9.9431	101.4197	2.4457
36	Noviembre	9.9269	101.2548	2.4298
37	Agosto	9.7749	99.7041	2.4256
38	Julio	9.9370	101.3573	2.4123
39	Setiembre	9.9383	101.3702	2.3935
40	Agosto	9.9055	101.0365	2.3934
41	Noviembre	9.9132	101.1145	2.3841
42	Octubre	9.9196	101.1800	2.3716
43	Agosto	9.9244	101.2285	2.3408
44	Octubre	9.9129	101.1117	2.3267
45	Julio	9.9431	101.4201	2.3047
46	Setiembre	9.9196	101.1796	2.2855
47	Julio	9.9918	101.9159	1.7165
48	Octubre	9.8577	100.5488	1.7162
49	Noviembre	9.8612	100.5844	1.6966
50	Setiembre	9.8556	100.5275	1.6837
51	Julio	10.0579	102.5911	1.6832
52	Agosto	9.8516	100.4862	1.6396
53	Noviembre	9.8457	100.4261	1.5832
54	Noviembre	9.7937	99.8955	0.8513
55	Setiembre	9.7848	99.8051	0.8443
56	Octubre	9.7917	99.8755	0.8398

4.5.1.3. Sobre los resultados.

Podemos concluir que después de las mejoras implementadas, medidas corregidas en diseño y también en base a la operación y mantenimiento, estos objetivamente dieron resultados, desde noviembre del 2015 hasta noviembre del 2016. También podemos señalar, que dicho cambio del punto de operación nos permitió recuperar el volumen a favor del trasvase de agua, recuperando hasta 1712.88 m³ diarios, y 51386.59 m³ mensuales, como es el caso del comparativo del mes de agosto 2015 y 2016.

Mejora de las condiciones de operación de la planta:

- Línea de energía constante.
- Mejora de capacidad de almacenamiento de la poza de succión.
- Nivel constante de en la poza de succión (disminución de altura estática).
- Control de sedimentos en la succión.
- Mejora de diseño en el área de succión.

Mejoras en la operación y mantenimiento.

encontrándose condiciones negativas desde el diseño hasta la operación y mantenimiento de la estación de bombeo, las cuales se fueron mejorando en base al siguiente trabajo. A un nivel de conseguir un rendimiento óptimo de todas las nuevas condiciones de operación de la planta como son: Línea de energía constante para el sistema, un nivel de energía de la poza de succión, disminución de altura estática y por ende mejores condiciones para el desempeño de los motores, control de sedimentos y/o partículas al ingreso del sistema de succión, se mejoró el diseño del área en las canastillas de succión, se mejoró la capacidad de almacenamiento de la poza de succión

Se consiguieron mejores resultados para los siguientes parámetros.

- Presión de succión de la unidad de bombeo N° 1;2;3;4. > 1. mlc
- Presión de descarga de la unidad de bombeo N° 1;2;3;4. Promedio de 10 bar.
- Nivel de la poza de succión de hasta 107%.

Presión de línea principal:

- Presión de impulsión del sistema. ≥ 10 Bar.
- Caudal impulsado por el sistema. 2.631 m³/s.
- Altura dinámica total. 107.60 mlc.

Capítulo V

Aspectos Económicos

Empezaremos describiendo los costos que generaban el operar bajo las condiciones dadas desde el inicio de operación hasta el mes de octubre del 2015, mes donde se pusieron a prueba y se implementaron mejoras para optimizar el rendimiento hidráulico de la estación de bombeo del proyecto derivación Huascacocha – Rímac.

Como lo descrito anteriormente, en la mejora del rendimiento hidráulico de la estación, se pudieron encontrar deficiencias como son, pérdidas de presión, debido a accesorios en mal estado, sistemas de canastillas deficientes, modos de operación deficientes, etc. Que conllevaron a operar en un punto de operación NO óptimo para nuestras condiciones y por ende a generar un aumento considerable en el consumo de nuestras facturas mensuales durante los meses de operación.

Descripción de las Electrobombas:

P (kW): 1450

n: 1190 RPM

Eficiencia del motor: 0.965

Power factor: 0.86

Tabla 51: potencia convenidas según contrato. (Epasa)

(Potencias Convenidas KW-Según Contrato de Fecha 07/11/2011, Cláusula 7.1)						
Desde Mayo 2012	<u>Malpaso 50kV</u>			<u>Oroya Nueva 50kV</u>		
	COELVISAC		TOTAL KW	COELVISAC		TOTAL KW
	KW	(%)		KW	(%)	
<u>Hora Punta</u>	4,500.00	100.00%	4,500.00	4,660.65	100.00%	4,660.65
<u>Horas F. Punta</u>	4,500.00	100.00%	4,500.00	4,660.65	100.00%	4,660.65

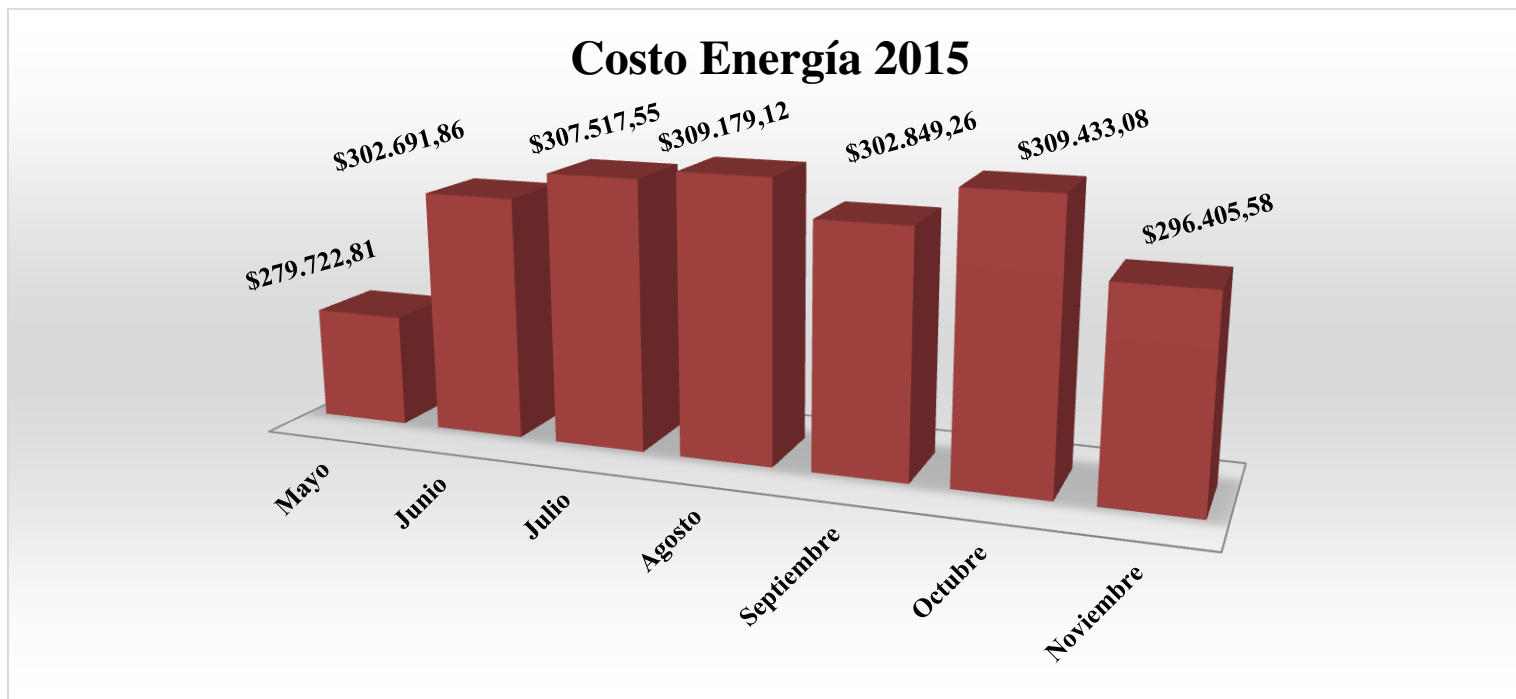
Como se aprecia en la tabla anterior, estamos sujetos al cobro por hora punta, entonces se tiene que considerar no poner en marcha el encendido de la cuarta unidad de bombeo, ya que esto elevaría la potencia y el consumo de energía, por ende, el costo a pagar por ella. Por otra parte, en el intervalo de las cinco horas punta se operaba con tres unidades de bombeo a un ritmo máximo de 2.55m³/s. (capacidad de tres unidades de bombeo). y en el resto del día la puesta en marcha de la cuarta unidad para llegar a la meta establecida.

A continuación, se presenta el registro de facturación de los años 2015; 2016 para las épocas de operación como son: los meses Mayo, junio, Julio, agosto, Setiembre, octubre, noviembre.

5.1 Consumo de energía 2015

Tabla 52: Costo mensual de energía. (Epasa)

2015	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Consumo de Energía activa							
Energía Activa Horas Punta	465,828.0 Kwh	492,860.0 Kwh	459,161.0 Kwh	504,506.0 Kwh	521,082.0 Kwh	493,431.0 Kwh	439,545.0 Kwh
Energía Activa Horas Fuera Punta	2,135,467.0 Kwh	2,324,654.0 Kwh	2,412,966.0 Kwh	2,373,140.0 Kwh	2,291,373.0 Kwh	2,389,233.0 Kwh	2,329,505.0 Kwh
Excesos de consumo de Energía Activa							
Energía Activa Horas Punta	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh
Energía Activa Horas Fuera Punta	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	0.0 Kwh	26.0 Kwh	0.0 Kwh
Por Potencia	4282.0 kw	4318.0 kw	4509.0 kw	4623.0 kw	4291.0 kw	4261.0 kw	4195.0 kw
Por Energía	2,601,295.0 Kwh	2,817,514.0 Kwh	2,872,127.0 Kwh	2,877,646.0 Kwh	2,812,455.0 Kwh	2,882,690.0 Kwh	2,769,050.0 Kwh
Costo	<u>\$279,722.81</u>	<u>\$302,691.86</u>	<u>\$307,517.55</u>	<u>\$309,179.12</u>	<u>\$302,849.26</u>	<u>\$309,433.08</u>	<u>\$296,405.58</u>



Gráfica 8: Consumo de energía 2015.

Interpretación:

Nota: en el mes de mayo 2015 el consumo se disminuye 04 días ya que la operación se inició el día 05/05/2015. Es por ello el menor consumo de toda la temporada.

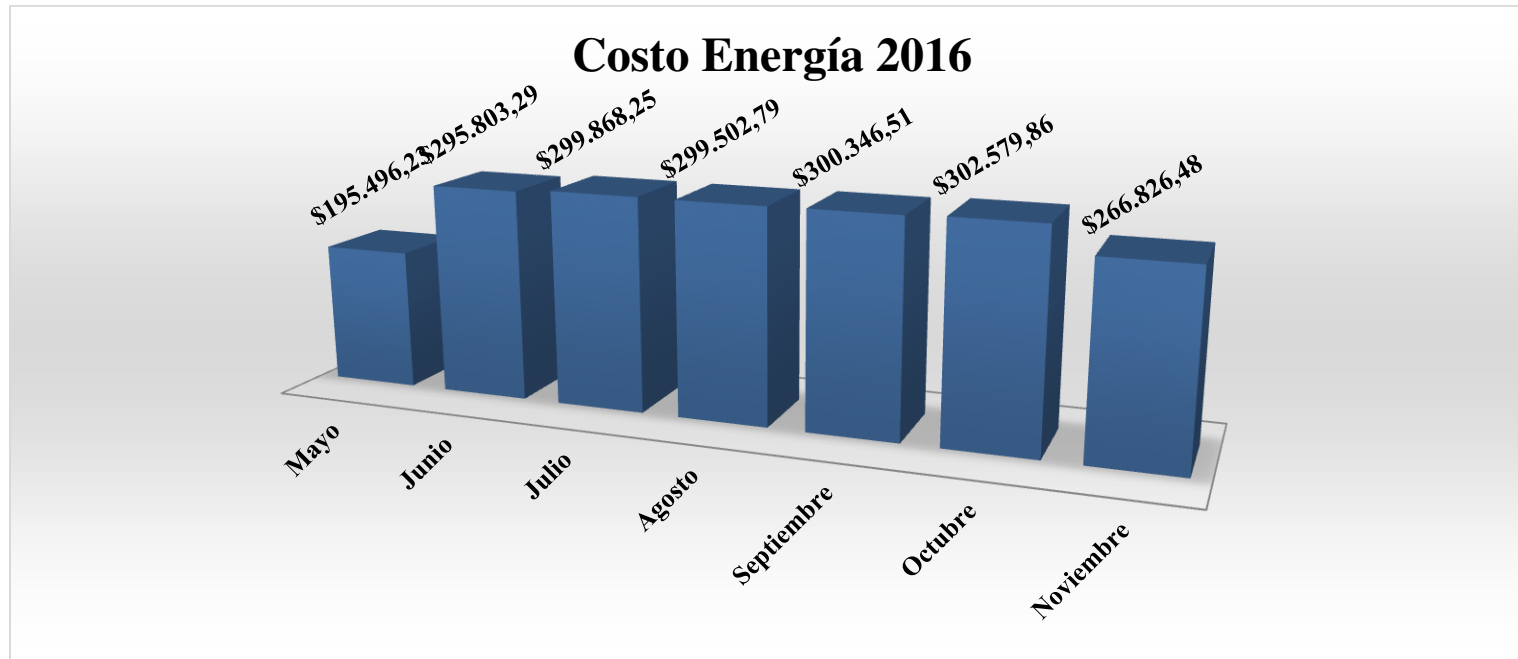
El menor consumo de energía se registró en el mes de noviembre para dicho año.

Es necesario resaltar que el consumo registrado en noviembre del 2015 es por la influencia directa del presente trabajo de titulación, en donde se tomaron una serie de medidas, como se describió el en capítulo IV de cálculos y resultados.

5.2 Consumo de energía 2016

Tabla 53: Costo mensual de energía. (Epasa)

2016 Consumo de Energía activa	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Energía Activa Horas Punta	311,217.0 Kwh	441,899.0 Kwh	434,871.0 Kwh	452,484.0 Kwh	477,521.0 Kwh	438,140.0 Kwh	409,146.0 Kwh
Energía Activa Horas Fuera Punta	1,509,641.0 Kwh	2,319,041.0 Kwh	2,367,343.0 Kwh	2,342,162.0 Kwh	2,318,438.0 Kwh	2,389,428.0 Kwh	2,079,975.0 Kwh
Excesos de consumo de Energía Activa							
Energía Activa Horas Punta	60.0 Kwh	89.0 Kwh	68.0 Kwh	10.0 Kwh	461.0 Kwh	32.0 Kwh	13.0 Kwh
Energía Activa Horas Fuera Punta	441.0 Kwh	1,616.0 Kwh	1,389.0 Kwh	1,379.0 Kwh	1,843.0 Kwh	1,587.0 Kwh	441.0 Kwh
Por Potencia	4635.0 kw	4195.0 kw	4195.0 kw	4195.0 kw	4661.0 kw	4195.0 kw	4636.0 kw
Por Energía	1,821,359.0 Kwh	2,762,645.0 Kwh	2,803,671.0 Kwh	2,796,035.0 Kwh	2,798,263.0 Kwh	2,829,187.0 Kwh	2,489,575.0 Kwh
Costo	<u>\$195,496.23</u>	<u>\$295,803.29</u>	<u>\$299,868.25</u>	<u>\$299,502.79</u>	<u>\$300,346.51</u>	<u>\$302,579.86</u>	<u>\$266,826.48</u>



Gráfica 9: Consumo de energía 2016.

Interpretación:

Para el presente año 2016, cabe señalar que la condiciones de operación cambiaron significativamente, para la evaluación e implementación de las mejoras planteadas en el siguiente trabajo, ya que en este año se presentaron fallas en el sistema de impulsión en lo que respecta al Variador de Velocidad Power Flex 7000 la cual salió fuera de servicio por fallas técnicamente electrónicas para esta presente temporada de operación, conllevando a una operación en estado sólido del centro de control de motores, en donde las unidades de bombeo trabajaban a plena carga. Para este tipo de operación se menciona que no es factible el control del flujo trasvasado o en las mismas unidades de bombeo para regular las RPM de la unidad de bombeo. Todo esto dificultó la implementación del presente trabajo, aunque con ya los resultados obtenidos en noviembre del 2015, donde los resultados fueron los esperados, se espera restablecer el variador de velocidad para la puesta en marcha de la operación 2017, con las mejoras planteadas en el presente trabajo.

5.3 Beneficios económicos obtenidos

Considerando una eficiente operación después de mejorar las condiciones de operación del proyecto Huascacocha a través del trabajo de titulación: “Mejorar del rendimiento de la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha -Rímac.” En donde se logró conseguir óptimos resultados que se reflejan en la parte económica como uno de los objetivos del presente trabajo.

A continuación, se detalla la factura en función al modo de operación en el mes de noviembre del 2015 donde se realizaron las primeras pruebas de un buen programa de manejo de operación mediante las unidades de bombeo para llegar a nuestra meta diaria del volumen ya mencionado.

\$ HP	0.1273	US\$ / Kwh
\$ HFP	0.10322	US\$ / Kwh

Tabla 54: Beneficio económico. (Epasa)

Energía Activa 2015	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Costo	\$ 279722.81	\$ 302691.86	\$ 307517.55	\$ 309179.12	\$ 302849.26	\$ 309433.08	\$ 296405.58

Energía Activa 2016	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Costo	\$ 195496.23	\$ 295803.29	\$ 299868.25	\$ 299502.79	\$ 300346.51	\$ 302579.86	\$ 266826.48

Ahorro **\$147,375.86**

De los cuadros mencionados líneas arriba es muy importante señalar y concluir que con las mejoras implementadas desde el día 31 de octubre del 2015, y poniendo a prueba todo el mes de noviembre 2015, se puede llegar a ahorrar una cifra significativa de hasta **\$147,375.86** en todo el periodo de operación desde mayo a noviembre, considerando que implementando los modos de operación hidráulica de la estación esta cifra podría aumentar aún mucho más.

Considerando que para ambos años en donde se implementa la mejora. Se llegue a cumplir la meta según el contrato de concesión con los volúmenes que se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 55: Relación Caudal vs Hm. Unidades de bombeo.

Operación 2015		Operación 2016	
Volumen Trasvasado m3		Volumen Trasvasado m3	
Mayo	6508503.5	Mayo	7188927.5
Junio	6955557.5	Junio	6951210.5
Julio	7102877.0	Julio	6951624.0
Agosto	7106514.0	Agosto	6958374.0
Septiembre	6957852.0	Septiembre	6947338.0
Octubre	7069068.0	Octubre	7046498.0
Noviembre	6818576.0	Noviembre	6012432.0
Total	48518948.0	Total	48056404.0
	48.52 MMC		48.06 MMC

Como se muestra en la tabla en ambos años se logra cumplir con la meta establecida

Justifica disminuir el costo de consumo de energía haciendo más eficiente la estación de bombeo del proyecto de derivación Huascacocha –Rímac.

Entonces en esta parte también se concluye que, para cumplir un mismo volumen anual, con un nuevo punto de operación, y con las recomendaciones dadas mediante el presente trabajo de titulación de mejora del rendimiento hidráulico del proyecto Huascacocha-Rímac. Trae un beneficio económico y considerable para la Operación & Mantenimiento del proyecto Huascacocha –Rímac.

Importante señalar que la comparación entre facturas se realizó en función a un mismo precio unitario (kw-h), pudiendo reflejar mediante el consumo en kw las diferencias entre los años de comparación de consumo de energía. Obviamente en las facturas emitidas a la empresa a cargo de la concesión varían ya que el costo de kw-h varia de año en año, por tal razón se compara en función a lo consumido en cada periodo. Concluyendo que, a pesar de los aumentos en la tarifa eléctrica, el sustento del trabajo para optar título, refleja los considerables aspectos económicos en ahorro al proyecto.

5.4 Penalidades por incumplimiento de volumen entregado a SEDAPAL.

De lo descrito anteriormente, el no cumplir con el trasvase de los volúmenes diarios y/o mensuales por parte de la empresa propietaria de la concesión, ésta conlleva a penalidades económicas en función al volumen faltante al cerrar el mes, y descontando la penalidad a la facturación presentada por dicho mes de operación.

A continuación, se muestra la magnitud del descuento y calculo correspondiente para un mes de operación en donde no se cumple la meta establecida en volumen.

Es muy importante señalar que con los modos de operación con las que se ha estado trabajando es casi imposible llegar a trasvasar el volumen mensual o meta mensual asignada por SEDAPAL, ya que en la operación de la estación de bombeo se requiere de la puesta en marcha de la cuarta unidad de bombeo para cumplir el trasvase del volumen establecido en funciones a la meta mensual y/o anual por SEDAPAL. (ProInversión, 2009)

$$RPI = RUB * V_{RPI}$$

Donde:

V_{RPI} : Es la parte proporcional del Vrre correspondiente a la RPI
 V_{RRE} : Volumen anual en metros cúbicos de agua cruda del régimen de entrega
 RUB : Remuneración Unitaria Básica

Mecanismo de liquidación de la RPI:

Donde:

V_{RPI} : Volumen por metro cubico asociado al pago de la RPI
 V_{RRE} : Volumen anual en metros cubicos de agua cruda del régimen de entrega
 $X\%$: Factor de proporcionalidad del Vrre que determina el Vrpi valor base de $X\%$ es de 83.13%.

Liquidación y pago por el servicio

$$V_{RPMO} = (1 - x\%) \times V_{RRE}$$

Donde:

V_{RPMO} : Volumen anual en metros cúbicos de agua cruda entregada asociado al pago del RPMO.

V_{RRE} : Volumen anual en metros cúbicos de agua cruda entregada.

$X\%$: Factor de proporcionalidad del V_{rre} que determina el V_{rpi} valor base de $X\%$ es de 83.13%.

$(1 - x\%)$: Es el factor de proporcionalidad del V_{rre} que determina el V_{rpmo} , el valor base de $X\%$ es de 83.13%.

Ecuaciones para el cálculo del pago por el servicio de entrega de agua. (ProInversión, 2009)

Considerando lo siguiente: Entrega de agua conforme al anexo 1.1

$$a) \quad V_{ENTm} \leq \left(\frac{V_{RPI}}{7} + \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\% \right) \right)$$

$$Entonces \text{ Pago} = \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \right) \times 69.76\% \times RUB$$

$$b) \quad \left(\frac{V_{RPI}}{7} + \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\% \right) \right) < V_{ENTm} \leq \frac{V_{RRE}}{7}$$

$$Entonces \text{ Pago} = \left(V_{ENTm} - \frac{V_{RPI}}{7} \right) \times RUB$$

$$c) \quad V_{ENTm} > \frac{V_{RRE}}{7}$$

$$Entonces \text{ Pago} = \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \right) \times RUB + \left(V_{ENTm} - \frac{V_{RRE}}{7} \right) \times RUB$$

No cumplimiento conforme al anexo 1.1

$$d) V_{ENTm} \leq \frac{V_{RPI}}{7} + \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\% \right)$$

$$\text{Entonces Pago} = (V_{ENTm} \times 12,40\% \times RUB)$$

$$e) \frac{V_{RPI}}{7} + \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\% \right) < V_{ENTm} < \frac{V_{RRE}}{7}$$

Entonces Pago

$$\left(\frac{V_{RPI}}{7} + \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\% \right) \right) \times 12,40\% \times RUB + V_{ENTm} - \frac{V_{RPI}}{7} - \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\% \right) \times RUB$$

A continuación, se define lo siguiente:

RUB = S/. 0.89210000, X%=83.13% Para un volumen anual de 48600000 m³

Se mostrará entonces un ejemplo para un volumen que cumpla con el contrato de entrega con respecto al anexo 1.1 y otro volumen de no cumplimiento al contrato de entrega 1.1

Se en el siguiente cuadro donde se muestra un volumen ingresado de 7000000 m³ de agua entregada, entonces se procede al pago utilizando la ecuación “C”, en donde se muestra un monto de 1,095,858.19 soles. (ProInversión, 2009)

Sea el RUB: S/. 0.89210000

X% 83.13%

Volumen anual m³ 48600000 m³

PARA UN VOLUMEN CUALQUIERA

Ingresar Volumen

Tabla 56: Calculo de retribución, cumpliendo el anexo de entrega. (ProInversión, 2009)

RPI	RUB	V RPI	V RRE	V RPMO	X%	(1-X%)	V ENTm
S/ 36,041,892.68	S/. 0.89210000	40401180 m³	48600000 m³	8198820 m³	83.13%	16.87%	7000000 m³
Entrega del Agua conforme al anexo 1.1							
1. Ecuación (a)	V ENTm ≤ 7000000 m³	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 * 69,76%) 6588668.119		$Pago = \left(\frac{V_{RPMO}}{7}\right) \times 69.76\% \times RUB$	Entonces pago:		
2. Ecuación (b)	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 x 69,76%) 6588668.119	< V ENTm 7000000 m³	≤ Vrre/7 6942857.143 m³	$Pago = (V_{ENTm} - \frac{V_{RPI}}{7}) \times RUB$	Entonces pago:		
--				$Pago = \left(\frac{V_{RPMO}}{7}\right) \times RUB + (V_{ENTm} - \frac{V_{RRE}}{7}) \times RUB$	Entonces pago:		
3. Ecuación (c)	V ENTm > 7000000 m³	(V RRE/7) 6942857.143 m³		$Pago = (V_{ENTm} \times 12,40\% \times RUB)$	Entonces pago:		
				$Pago = (\frac{V_{RPI}}{7} + (\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\%)) \times 12,40\% \times RUB + V_{ENTm} - \frac{V_{RPI}}{7} - (\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\%)) \times RUB$	S/. 1,095,858.19		
No cumplimiento conforme al anexo 1.1							
4. Ecuación (d)	V ENTm ≤ 0 m³	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 x 69,76%) 6588668.119			Entonces pago:		
5. Ecuación (e)	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 x 69,76%) 6588668.119	< V ENTm 0 m³	< Vrre/7 6942857.143 m³	-	Entonces pago:		
					Entonces pago:		

Se muestra un volumen ingresado de 6500000 m³ de agua entregada, entonces se procede al pago utilizando la ecuación “D”, debido al incumplimiento según el contrato de entrega de agua, el monto que se calcula y como se muestra en el cuadro es de 719,032 .60 soles.

Tabla 57: Cálculo de retribución, incumpliendo el anexo de entrega (penalidad). (ProInversión, 2009)

RPI	RUB	V RPI	V RRE	V RPMO	X%	(1-X%)	V ENTm
S/ 36,041,892.68	S/. 0.89210000	40401180 m ³	48600000 m ³	8198820 m ³	83.13%	16.87%	6500000 m ³
Entrega del Agua conforme al anexo 1.1							
1. Ecuación (a)	V ENTm ≤ 6500000 m ³	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 * 69,76%) 6588668.119			$Pago = \left(\frac{V_{RPMO}}{7}\right) \times 69.76\% \times RUB$	Entonces pago:	
2. Ecuación (b)	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 * 69,76%) < V ENTm ≤ Vrre/7	6588668.119 6500000 m ³	6942857.143 m ³		$Pago = \left(\frac{V_{RPMO}}{7}\right) \times RUB + \left(V_{ENTm} - \frac{V_{RRE}}{7}\right) \times RUB$	Entonces pago:	NO
3. Ecuación (c)	V ENTm > 6500000 m ³	(V RRE/7) 6942857.143 m ³			$Pago = (V_{ENTm} \times 12,40\% \times RUB)$ $Pago = \left(\frac{V_{RPI}}{7} + \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\%\right)\right) \times 12,40\% \times RUB +$ $V_{ENTm} - \frac{V_{RPI}}{7} - \left(\frac{V_{RPMO}}{7} \times 69.76\%\right) \times RUB$	Entonces pago:	NO
No cumplimiento conforme al anexo 1.1							
4. Ecuación (d)	V ENTm ≤ 6500000 m ³	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 * 69,76%) 6588668.119				Entonces pago	S/. 719,032.60
5. Ecuación (e)	(Vrpi/7 + (Vrpmo/7 * 69,76%) < V ENTm < Vrre/7	6588668.119 6500000 m ³	6942857.143 m ³		-	Entonces pago	NO

Luego: restando ambos montos:

$$\text{S/. 1,095,858.19} - \text{S/. 719,032.60} = \text{S/. 376,825.59}$$

Entonces concluimos que el no cumplimiento de entrega de agua según el contrato anexo 1.1, genera una pérdida económica muy considerable.

Es por eso que es muy importante el margen de a favor que se pudo conseguir en la realización de la siguiente tesis.

Capítulo VI

6.1 Conclusiones

- Se evaluó las condiciones de operación de la planta, encontrándose condiciones negativas para la operación del sistema de bombeo Huascacocha Rimac. La Estación opera las 24 horas del día durante 7 meses, impulsando un caudal de 2.55 m³/s con tres unidades de bombeo en promedio, y utilizando la cuarta unidad para llegar a cumplir con el volumen requerido diario de 227150 m³. El sistema es de succión positiva con unidades de 0.9 m³/s de diseño, el sistema cuenta con una altura estática de 101.10 m. entonces se busca conseguir un rendimiento óptimo para la estación. Dichas evaluaciones fueron realizadas en marco a los conceptos de ingeniería de las normas técnicas internacionales y del instituto de Hidráulica, así como también los conceptos de ingeniería mecánica de fluidos.
- En la curva obtenida Q vs H, se pudo observar claramente que el sistema ofrece una resistencia que hacía que el punto de operación del sistema sea no óptimo para la estación de bombeo, forzando las unidades de bombeo, y por ende afectando el consumo de energía. Entonces se muestra el Caudal 2.58 m³/s. con un ADT 108.99 m, Potencia 3524 kw y eficiencia de 78.25%, también un NPSH disponible de 7.4m. Luego para conseguir un óptimo punto de operación, se evaluó las causas que generaban el déficit del caudal, en base a las presiones de succión, impulsión, condiciones de operación y el punto de operación del sistema. Buscando mejorar el rendimiento del sistema en base a la aplicación de normas técnicas internacionales y del Hydraulic Institute (HI). Para poder conseguir mejores condiciones de operación para el sistema.
- Sobre las causas que afectaban el rendimiento de la estación de bombeo, éstas fueron identificadas y mejoradas y/o rediseñadas, en función a la necesidad particulares del proyecto Huascacocha Rimac. como son: Línea de energía constante del sistema, Nivel de energía de la poza de succión, Variación en la altura estática (implicancia en la performance de los motores), rediseño del área de succión en las canastillas, aplicación del concepto de sumergencia, capacidad de almacenamiento de la poza de succión, control de sedimentos y/o partículas al ingreso del sistema de succión, sobre la operación y mantenimiento se corrigió pérdidas de carga localizadas, se implementó mejoras en operación como sistema de control, operación y mantenimiento en base a normas de ahorro de energía, descripción de un nuevo modo de operación basado en las mejoras implementadas. Entonces se presenta la siguiente información: NPSH requerido 7.9 m, NPSH disponible para el 2015 fue de 7.4 m. Área de la canastilla neta 8342.641cm².

- El rendimiento del sistema no era el óptimo para la estación de bombeo Huascacocha, en las condiciones en las que se venía operando, como se muestra en los resultados obtenidos. Se muestra por ejemplo que para un caudal determinado de: 3.18 m³/s; 3.12 m³/s; 2.63 m³/s; 2.60 m³/s; 2.58 m³. una eficiencia hidráulica de 79.93%; 79.75%; 78.54%; 78.17%; 78.25%, respectivamente para el tiempo de operación del 2015. También se consiguieron los siguientes resultados en base a la altura dinámica total. Unidad N° 1, Unidad N° 2, Unidad N° 3, Unidad N°4, fue de: 103.997 m, 103.339, 104.330 m, 104.205 m, respectivamente con respecto al caudal por cada unidad. y finalmente un caudal promedio de Q: 2.55m³/s, para el sistema en la operación 2015.
- Sobre la evaluación del rendimiento de cada unidad de bombeo y del sistema en el escenario de mejora y el ahorro energético, se pudo conseguir una mejora del punto de operación. acotando que se pudo lograr un considerable ahorro en la parte económica, reflejado en la facturación de energía.

La mejora del punto de operación se dio al mover el punto de operación hacia la derecha, para un mayor caudal y altura necesaria, consiguiendo así un ahorro de energía. Para la operación 2016 los resultados fueron, Q: 2.631m³/s; H:107.60 m. Es muy importante concluir que con las mejoras implementadas en base al presente trabajo realizado. se pudo llegar a ahorrar una cifra significativa de hasta **\$147,375.86**, en todo el periodo de operación desde mayo a noviembre del 2016. Considerando que para ambos años 2015; 2016, se llegó a cumplir la meta anual según el contrato de concesión de volumen trasvasado.

Se muestra en los resultados obtenidos para un caudal determinado de: 3.32 m³/s; 3.31 m³/s; 2.55 m³/s; 2.48 m³/s; 1.71 m³. una eficiencia hidráulica de 83.67%; 83.70%;83.98%; 83.97%; 83.07%, respectivamente para la temporada 2016. También se consiguió un promedio de altura dinámica total de: Unidad N° 1, Unidad N° 2, Unidad N° 3, Unidad N°4, fue de: 104.824 m, 104.54m, 104.71 m, 104.69 m, respectivamente, con respecto al caudal por unidad. Se consiguió el caudal de Q: 0.877m³/s para el 2016, por unidad. El NPSH disponible conseguido es de 8.2 m, el área final conseguida de la canastilla neta es de 9191.378 cm² y se determinó una sumergencia 1.84 m, así como también un aumento en el nivel en la poza de succión positiva consiguiendo 4.22 m de altura disponible.

Sobre la operación y mantenimiento se consiguió el manejo de indicadores y/o parámetros para hacer seguimiento en tiempo real, lectura y control correcto de flujómetros estación 400 y marca III, control de pérdidas de carga debido a fugas, falla de accesorios anuladas y controladas, control adecuado del sistema de descarga de la represa para un suministro constante del caudal requerido, puesta en marcha de unidades de bombeo eficientes, evitando el encendido y apagado repetitivos, alternativa de flujo regulado constante.

6.2 Recomendaciones

- Cumplir a cabalidad el nuevo modo de operación que se describió, esto resultado de los análisis y cálculos realizados para conseguir mejores condiciones de operación, y estas puedan optimizar el rendimiento de la estación de bombeo.
- Es importante señalar que mantener un nivel de energía constante en la poza de succión a un 107%, como parte del nuevo modo de operación, beneficia mucho con respecto al consumo de energía de las unidades de bombeo.
- Se recomienda mejorar el sistema de canastillas de la poza de succión, mediante un sistema de estructuras funcionales, que ayuden a mitigar al más mínimo el ingreso de sólidos y algas que se sedimentan en la poza de succión.
- Garantizar un flujo constante para un caudal establecido desde la represa, y a través del sistema de conducción, a la poza de succión, y evitar el ciclo repetitivo de encendido y apagado de la cuarta unidad de bombeo.
- Sistema de gestión de mantenimiento focalizado al sistema de Huascacocha.

6.3 Referencias Bibliográficas

Libros.

- (1). Wilfredo Jara Tirapegui. “MÁQUINAS HIDRÁULICAS” Edición 1998. Instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica (INIFIM).
- (2). Arturo Rocha Felices. “HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES” Edición 2007
- (3). Ven te Chow. “HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS” Edición 2004.
- (4). Claudio Mataix. “MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS. Segunda edición 1986.

Artículos-Proyectos.

- (6). José Agüera Soriano. “BOMBAS CENTRIFUGAS Y VOLUMÉTRICAS” Año: 2011
- (7). Constructora OAS Sucursal del Perú. “DISEÑO construcción, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA OBRA DE TRASVASE DEL PROYECTO DERIVACIÓN HUASCACocha – RIMAC. 2009”
- (8). Empresa Peruana de Aguas 2010. PROYECTO HUASCACocha.
- (9). Empresa Peruana de Aguas. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO HUASCACocha Año: 2014-2015.
- (10). Empresa Peruana de Aguas. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO HUASCACocha. Año 2016.

- (11). ProInversión. “PROYECTOS INTEGRALES PARA LA ENTREGA DE CONCESIÓN DEL PROYECTO HUASCACocha”. Enero 2009.
- (12). Hidrostal. “REPARACIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO 2007”
- (13). Hidrostal. “BOMBAS-SOLUCIONES CON TECNOLOGÍA 2014”
- (14). Organización Internacional de Estandarización. “ISO 9906”. Edición 2012.
- (15). Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos. “ASME 14414” Edición 2015.
- (16). Ministerio del Ambiente. “Decreto supremo N° 002-2008 MINAM”
- (17). ROTODYNAMIC Pumps guideline for NPSH Margin.

Definiciones 1

Símbolo	Descripción	Unidad
<i>A</i>	Área	<i>m</i> ²
<i>D</i>	Diámetro	<i>m</i>
<i>Q</i>	Caudal	<i>m</i> ³ / <i>s</i>
<i>g</i>	Aceleración de la gravedad	<i>m/s</i> ²
<i>H</i>	Altura Total de la bomba	<i>m</i>
<i>f</i>	Frecuencia	<i>s</i> ⁻¹ , <i>Hz</i>
<i>l</i>	Longitud	<i>m</i>
<i>M</i>	Torque	<i>Nm</i>
<i>n</i>	Velocidad de rotación	<i>s</i> ⁻¹ , <i>min</i> ⁻¹
<i>NPSH</i>	Altura Neta de Succión Positiva	<i>m</i>
<i>p</i>	Pressure	<i>Pa</i>
<i>P</i>	Potencia	<i>W</i>
<i>Re</i>	Número de Reynolds	
<i>v</i>	Velocidad de rotación	<i>m/s</i>
<i>V</i>	Volumen	<i>m</i> ³
<i>γ</i>	Peso específico	
<i>z</i>	Altura sobre el plano de referencia	<i>m</i>
<i>η</i>	Eficiencia	
<i>°C</i>	Temperatura	<i>°C</i>
<i>ρ</i>	Densidad	<i>kg/m</i> ³
<i>ω</i>	Velocidad Angular	<i>rad/s</i>
<i>S</i>	Sumergencia	<i>m</i>
<i>Fr</i>	Número de Froude	
<i>ADT</i>	Altura dinámica total	<i>m</i>
<i>s</i>	Pendiente	<i>m/m</i>
<i>Vel.</i>	Velocidad	<i>m</i>
<i>Desc.</i>	Descarga	<i>bar</i>
<i>Succ.</i>	Succión	<i>bar</i>
<i>C</i>	Coeficiente de rugosidad	
<i>mmhg</i>	Presión en mm de mercurio	<i>mmhg</i>
<i>Patm.</i>	Presión atmosférica	<i>m</i>
<i>Pvap.</i>	Presión de vapor.	<i>m</i>
<i>J</i>	Perdida por longitud	<i>m/m</i>
<i>mlc</i>	Metros de columna de agua	<i>m</i>
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto.	
<i>kW</i>	Kilowatt	
<i>NP</i>	Nivel de poza	<i>%</i>

Anexos.

Tablas Rendimiento Temporada 2015.

Tabla 58: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 1		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B1	Des. B1										
10-01-2015 01:40:00	2.879	2.806	0.091	10.054	102.548	0.926	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.160
10-01-2015 01:50:00	2.850	2.796	0.091	10.051	102.524	0.927	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.035
10-01-2015 02:00:00	2.853	2.790	0.090	10.054	102.548	0.921	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.065
10-01-2015 02:10:00	2.841	2.787	0.090	10.042	102.426	0.919	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.945
10-01-2015 02:20:00	2.855	2.792	0.090	10.049	102.498	0.918	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.018
10-01-2015 02:30:00	2.840	2.781	0.089	10.040	102.412	0.904	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.946
10-01-2015 02:40:00	2.840	2.784	0.089	10.053	102.536	0.909	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.065
10-01-2015 02:50:00	2.854	2.787	0.090	10.043	102.441	0.916	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.963
10-01-2015 03:00:00	2.842	2.786	0.089	10.043	102.441	0.904	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.976
10-01-2015 03:10:00	2.858	2.787	0.088	10.051	102.516	0.902	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.052
10-01-2015 03:20:00	2.835	2.784	0.089	10.044	102.448	0.909	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.977
10-01-2015 03:30:00	2.845	2.784	0.089	10.044	102.445	0.908	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.975
10-01-2015 03:40:00	2.850	2.789	0.089	10.055	102.559	0.903	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.094
10-01-2015 03:50:00	2.842	2.788	0.089	10.045	102.460	0.906	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.993
10-01-2015 04:00:00	2.852	2.791	0.089	10.049	102.495	0.904	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.029

Tabla 59: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 1		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m2	Área m2	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B1	Des. B1										
10-01-2015 04:10:00	2.858	2.786	0.088	10.044	102.451	0.895	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.993
10-01-2015 04:20:00	2.845	2.788	0.087	10.046	102.466	0.888	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.016
10-01-2015 04:30:00	2.834	2.786	0.088	10.044	102.447	0.895	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.990
10-01-2015 04:40:00	2.828	2.774	0.088	10.051	102.515	0.897	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.057
10-01-2015 04:50:00	2.843	2.784	0.087	10.051	102.524	0.892	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.070
10-01-2015 05:00:00	2.823	2.760	0.089	10.042	102.425	0.903	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.960
10-01-2015 05:10:00	2.829	2.771	0.089	10.041	102.418	0.911	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.945
10-01-2015 05:20:00	2.826	2.766	0.091	10.044	102.447	0.925	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.960
10-01-2015 05:30:00	2.831	2.773	0.091	10.040	102.405	0.927	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.916
10-01-2015 05:40:00	2.848	2.778	0.092	10.044	102.450	0.934	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.954
10-01-2015 05:50:00	2.830	2.777	0.091	10.043	102.440	0.929	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.950
10-01-2015 06:00:00	2.833	2.768	0.093	10.040	102.404	0.946	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.896
10-01-2015 06:10:00	2.841	2.768	0.092	10.052	102.535	0.940	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.033
10-01-2015 06:20:00	2.835	2.771	0.093	10.045	102.463	0.948	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.953
10-01-2015 06:30:00	2.841	2.779	0.094	10.042	102.429	0.955	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.912

Tabla 60: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 2		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m2	Área m2	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B2	Des. B2										
10-01-2015 00:00:00	2.952	2.902	0.124	10.029	102.299	1.265	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.472
10-01-2015 00:10:00	2.975	2.896	0.118	10.030	102.305	1.207	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.537
10-01-2015 00:20:00	2.907	2.840	0.118	10.016	102.163	1.208	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.393
10-01-2015 00:30:00	2.899	2.829	0.115	10.017	102.176	1.175	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.440
10-01-2015 00:40:00	2.902	2.827	0.112	10.017	102.175	1.139	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.474
10-01-2015 00:50:00	2.877	2.824	0.109	10.020	102.203	1.112	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.530
10-01-2015 01:00:00	2.856	2.793	0.108	10.007	102.076	1.103	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.412
10-01-2015 01:10:00	2.602	2.549	0.122	9.970	101.693	1.242	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	102.890
10-01-2015 01:20:00	2.882	2.815	0.118	10.011	102.110	1.208	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.340
10-01-2015 01:30:00	2.870	2.811	0.117	10.012	102.126	1.195	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.369
10-01-2015 01:40:00	2.879	2.806	0.116	10.009	102.088	1.187	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.339
10-01-2015 01:50:00	2.850	2.796	0.115	10.001	102.015	1.175	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.278
10-01-2015 02:00:00	2.853	2.790	0.114	10.005	102.054	1.168	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.325
10-01-2015 02:10:00	2.841	2.787	0.115	10.009	102.096	1.170	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.364
10-01-2015 02:20:00	2.855	2.792	0.113	9.999	101.995	1.150	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.283

Tabla 61: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 2		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B2	Des. B2										
10-01-2015 02:30:00	2.840	2.781	0.113	9.997	101.966	1.154	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.250
10-01-2015 02:40:00	2.840	2.784	0.113	10.005	102.046	1.156	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.328
10-01-2015 02:50:00	2.854	2.787	0.113	10.001	102.011	1.154	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.296
10-01-2015 03:00:00	2.842	2.786	0.112	10.002	102.022	1.145	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.315
10-01-2015 03:10:00	2.858	2.787	0.112	10.001	102.007	1.140	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.305
10-01-2015 03:20:00	2.835	2.784	0.112	9.997	101.970	1.138	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.271
10-01-2015 03:30:00	2.845	2.784	0.112	10.000	102.000	1.137	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.301
10-01-2015 03:40:00	2.850	2.789	0.112	10.002	102.019	1.138	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.320
10-01-2015 03:50:00	2.842	2.788	0.111	10.000	102.005	1.135	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.308
10-01-2015 04:00:00	2.852	2.791	0.111	10.003	102.036	1.130	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.344
10-01-2015 04:10:00	2.858	2.786	0.111	9.998	101.980	1.128	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.289
10-01-2015 04:20:00	2.845	2.788	0.110	10.005	102.055	1.122	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.371
10-01-2015 04:30:00	2.834	2.786	0.111	9.996	101.958	1.133	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.264
10-01-2015 04:40:00	2.828	2.774	0.110	10.004	102.043	1.125	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.356
10-01-2015 04:50:00	2.843	2.784	0.111	10.009	102.091	1.131	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	103.399

Tabla 62: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 3		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B3	Des. B3										
10-01-2015 00:00:00	2.952	2.902	0.138	10.118	103.204	1.407	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.236
10-01-2015 00:10:00	2.975	2.896	0.131	10.118	103.204	1.335	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.307
10-01-2015 00:20:00	2.907	2.840	0.131	10.118	103.204	1.333	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.309
10-01-2015 00:30:00	2.899	2.829	0.128	10.118	103.204	1.308	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.334
10-01-2015 00:40:00	2.902	2.827	0.124	10.118	103.204	1.261	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.381
10-01-2015 00:50:00	2.877	2.824	0.121	10.118	103.204	1.232	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.411
10-01-2015 01:00:00	2.856	2.793	0.121	10.118	103.204	1.231	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.411
10-01-2015 01:10:00	2.602	2.549	0.137	10.118	103.204	1.401	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.242
10-01-2015 01:20:00	2.882	2.815	0.132	10.118	103.204	1.350	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.293
10-01-2015 01:30:00	2.870	2.811	0.132	10.118	103.204	1.343	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.300
10-01-2015 01:40:00	2.879	2.806	0.131	10.118	103.204	1.338	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.305
10-01-2015 01:50:00	2.850	2.796	0.130	10.118	103.204	1.326	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.316
10-01-2015 02:00:00	2.853	2.790	0.130	10.118	103.204	1.326	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.317
10-01-2015 02:10:00	2.841	2.787	0.130	10.118	103.204	1.323	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.319
10-01-2015 02:20:00	2.855	2.792	0.130	10.118	103.204	1.321	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.321

Tabla 63: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 3		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B3	Des. B3										
10-01-2015 02:30:00	2.840	2.781	0.129	10.118	103.204	1.316	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.326
10-01-2015 02:40:00	2.840	2.784	0.129	10.118	103.204	1.311	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.332
10-01-2015 02:50:00	2.854	2.787	0.129	10.118	103.204	1.316	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.327
10-01-2015 03:00:00	2.842	2.786	0.128	10.118	103.204	1.307	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.335
10-01-2015 03:10:00	2.858	2.787	0.128	10.118	103.204	1.307	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.335
10-01-2015 03:20:00	2.835	2.784	0.128	10.118	103.204	1.308	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.335
10-01-2015 03:30:00	2.845	2.784	0.128	10.118	103.204	1.306	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.337
10-01-2015 03:40:00	2.850	2.789	0.128	10.118	103.204	1.306	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.337
10-01-2015 03:50:00	2.842	2.788	0.127	10.118	103.204	1.300	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.343
10-01-2015 04:00:00	2.852	2.791	0.128	10.118	103.204	1.302	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.341
10-01-2015 04:10:00	2.858	2.786	0.127	10.118	103.204	1.298	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.345
10-01-2015 04:20:00	2.845	2.788	0.127	10.118	103.204	1.296	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.346
10-01-2015 04:30:00	2.834	2.786	0.127	10.118	103.204	1.293	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.350
10-01-2015 04:40:00	2.828	2.774	0.127	10.118	103.204	1.294	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.349
10-01-2015 04:50:00	2.843	2.784	0.127	10.118	103.204	1.297	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.346

Tabla 64: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 4		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B4	Des. B4										
10-01-2015 00:00:00	2.952	2.902	0.174	10.145	103.478	1.770	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.146
10-01-2015 00:10:00	2.975	2.896	0.166	10.145	103.478	1.696	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.220
10-01-2015 00:20:00	2.907	2.840	0.169	10.145	103.478	1.723	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.194
10-01-2015 00:30:00	2.899	2.829	0.166	10.145	103.478	1.691	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.225
10-01-2015 00:40:00	2.902	2.827	0.160	10.145	103.478	1.633	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.283
10-01-2015 00:50:00	2.877	2.824	0.158	10.145	103.478	1.615	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.301
10-01-2015 01:00:00	2.856	2.793	0.159	10.145	103.478	1.624	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.293
10-01-2015 01:10:00	2.602	2.549	0.180	10.145	103.478	1.840	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.076
10-01-2015 01:20:00	2.882	2.815	0.170	10.145	103.478	1.737	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.179
10-01-2015 01:30:00	2.870	2.811	0.171	10.145	103.478	1.746	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.170
10-01-2015 01:40:00	2.879	2.806	0.169	10.145	103.478	1.723	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.193
10-01-2015 01:50:00	2.850	2.796	0.170	10.145	103.478	1.729	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.187
10-01-2015 02:00:00	2.853	2.790	0.170	10.145	103.478	1.731	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.185
10-01-2015 02:10:00	2.841	2.787	0.171	10.145	103.478	1.745	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.171
10-01-2015 02:20:00	2.855	2.792	0.168	10.145	103.478	1.718	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.198

Tabla 65: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2015.

Fecha	Estación	Marca III	Unidad 4		Descarga m.c.a	Succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	Vel.Desc. m/s	Vel.Suc. m/s	ADT
			Suc. B4	Des. B4										
10-01-2015 02:30:00	2.840	2.781	0.168	10.145	103.478	1.712	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.204
10-01-2015 02:40:00	2.840	2.784	0.171	10.145	103.478	1.743	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.173
10-01-2015 02:50:00	2.854	2.787	0.168	10.145	103.478	1.718	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.198
10-01-2015 03:00:00	2.842	2.786	0.170	10.145	103.478	1.734	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.182
10-01-2015 03:10:00	2.858	2.787	0.166	10.145	103.478	1.697	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.219
10-01-2015 03:20:00	2.835	2.784	0.166	10.145	103.478	1.698	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.219
10-01-2015 03:30:00	2.845	2.784	0.166	10.145	103.478	1.695	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.221
10-01-2015 03:40:00	2.850	2.789	0.167	10.145	103.478	1.699	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.217
10-01-2015 03:50:00	2.842	2.788	0.167	10.145	103.478	1.703	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.213
10-01-2015 04:00:00	2.852	2.791	0.167	10.145	103.478	1.702	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.214
10-01-2015 04:10:00	2.858	2.786	0.164	10.145	103.478	1.671	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.245
10-01-2015 04:20:00	2.845	2.788	0.168	10.145	103.478	1.718	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.198
10-01-2015 04:30:00	2.834	2.786	0.167	10.145	103.478	1.700	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.217
10-01-2015 04:40:00	2.828	2.774	0.168	10.145	103.478	1.715	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.201
10-01-2015 04:50:00	2.843	2.784	0.168	10.145	103.478	1.716	0.855	0.137	0.636	0.417	0.900	6.260	1.344	104.200

Tablas Rendimiento Temporada 2016.

Tabla 60: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 1									
	Estación	Marc a III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/01/2016 00:35:00	3.432	3.452	10.049	102.496	100.869	1193.875	103.477	1.065	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.950
07/02/2016 14:40:00	3.404	3.441	10.050	102.512	101.589	1192.745	103.461	1.362	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.637
07/02/2016 15:35:00	3.420	3.443	10.050	102.506	103.237	1193.589	103.549	1.401	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.686
07/02/2016 16:25:00	3.413	3.439	10.048	102.491	103.927	1192.444	103.492	1.426	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.603
07/02/2016 18:10:00	3.419	3.437	10.051	102.522	104.013	1193.549	103.464	1.429	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.572
07/03/2016 01:15:00	3.418	3.436	10.048	102.494	105.268	1193.019	103.485	1.455	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.567
07/03/2016 14:00:00	3.412	3.438	10.054	102.555	101.191	1192.382	103.527	1.189	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.875
07/03/2016 14:50:00	3.414	3.438	10.055	102.561	101.925	1193.959	103.477	1.198	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.817
07/03/2016 16:35:00	3.409	3.441	10.050	102.506	104.003	1192.876	103.436	1.272	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.702
07/04/2016 10:25:00	3.407	3.437	10.043	102.437	104.198	1193.183	103.509	1.252	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.795
07/04/2016 12:00:00	3.397	3.439	10.075	102.769	107.661	1192.686	103.887	1.377	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.047
07/04/2016 13:45:00	3.405	3.438	10.049	102.504	107.723	1192.108	103.519	1.342	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.716
07/07/2016 10:40:00	3.408	3.438	10.046	102.473	105.658	1193.890	103.477	1.304	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.710
07/09/2016 18:35:00	3.432	3.446	10.047	102.477	102.177	1193.814	103.537	1.266	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.810
07/09/2016 19:30:00	3.419	3.443	10.049	102.503	103.268	1192.477	103.512	1.411	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.639

Tabla 61: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2016

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 1									
	Estación	Marca III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m2	Área m2	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/09/2016 22:25:00	3.432	3.445	10.052	102.526	107.165	1194.669	103.639	1.590	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.587
07/09/2016 23:30:00	3.426	3.436	10.048	102.486	103.544	1192.420	103.527	1.466	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.599
07/10/2016 00:30:00	3.425	3.446	10.049	102.503	104.843	1193.334	103.490	1.538	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.489
07/10/2016 05:25:00	3.420	3.436	10.049	102.504	104.499	1193.319	103.482	1.027	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.993
07/10/2016 07:10:00	3.408	3.437	10.045	102.460	105.668	1191.773	103.466	1.079	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.925
07/10/2016 10:35:00	3.420	3.437	10.048	102.488	105.847	1193.127	103.494	1.080	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.952
07/10/2016 12:30:00	3.422	3.442	10.049	102.498	106.317	1193.123	103.434	1.054	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.918
07/10/2016 14:25:00	3.412	3.436	10.045	102.462	102.615	1193.159	103.482	0.903	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.117
07/10/2016 16:15:00	3.417	3.435	10.045	102.463	105.504	1192.984	103.512	1.003	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.047
07/14/2016 17:30:00	3.422	3.448	10.049	102.495	103.684	1192.799	103.508	1.200	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.845
07/14/2016 18:20:00	3.420	3.439	10.047	102.474	100.949	1192.484	103.571	1.102	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.007
07/14/2016 19:50:00	3.423	3.436	10.046	102.470	105.114	1192.883	103.539	1.274	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.803
07/14/2016 21:25:00	3.422	3.438	10.045	102.457	102.604	1193.402	103.575	1.194	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.919
07/14/2016 22:10:00	3.418	3.435	10.046	102.471	104.219	1193.014	103.505	1.242	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.800
07/14/2016 23:45:00	3.424	3.435	10.046	102.468	101.459	1193.938	103.484	1.152	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.870

Tabla 66: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 1									
	Estación	Marc III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/15/2016 00:35:00	3.410	3.441	10.048	102.490	97.806	1192.663	103.517	1.023	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.032
07/15/2016 01:20:00	3.413	3.446	10.048	102.493	102.145	1193.278	103.484	1.176	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.847
07/15/2016 02:10:00	3.404	3.438	10.047	102.478	99.500	1193.048	103.527	1.074	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.991
07/15/2016 02:55:00	3.428	3.443	10.047	102.484	104.434	1193.201	103.485	1.249	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.774
07/15/2016 03:45:00	3.419	3.444	10.044	102.452	100.583	1194.316	103.479	1.114	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.903
07/15/2016 04:30:00	3.421	3.440	10.051	102.518	105.232	1192.984	103.534	1.265	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.807
07/15/2016 05:20:00	3.417	3.435	10.046	102.470	104.846	1192.875	103.474	1.262	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.750
07/15/2016 06:10:00	3.423	3.438	10.045	102.462	107.172	1192.343	103.486	1.344	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.680
07/15/2016 06:15:00	3.411	3.435	10.047	102.482	98.528	1193.746	103.563	1.039	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.062
07/15/2016 09:25:00	3.413	3.447	10.047	102.483	103.191	1193.305	103.556	1.174	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.920
07/15/2016 10:15:00	3.404	3.437	10.048	102.486	100.055	1192.723	103.511	1.027	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.022
07/15/2016 11:45:00	3.413	3.460	10.049	102.499	104.626	1192.999	103.574	1.158	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.954
07/15/2016 17:05:00	3.410	3.434	10.052	102.532	103.672	1192.835	103.557	1.001	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.094
07/16/2016 02:55:00	3.411	3.437	10.043	102.437	106.792	1192.995	103.600	1.388	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	104.750
07/18/2016 03:35:00	3.409	3.439	10.043	102.441	107.848	1193.468	103.485	0.866	0.877	0.137	0.636	0.417	0.900	6.422	1.379	105.157

Tabla 67: Rendimiento Unidad N° 1 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsi ón (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 2									
	Estació n	Marc a III					P Descarg a m.c.a	P succión m.c.a	Caud al m³/s	Área m2	Área m2	Diámet ro m	Diámet ro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/01/2016 00:35:00	3.4322	3.4524	10.04867	102.4964	100.869	1192.1354	103.2123	1.453946	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.296
07/02/2016 14:40:00	3.40446	3.4405	10.05021	102.5121	101.589	1190.989	103.1689	0.945697	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.761
07/02/2016 15:35:00	3.42002	3.4429	10.04962	102.5061	103.237	1191.6918	103.2202	1.004467	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.753
07/02/2016 16:25:00	3.41284	3.4391	10.04813	102.491	103.927	1190.8	103.2253	1.038659	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.724
07/02/2016 18:10:00	3.41934	3.4366	10.05114	102.5216	104.013	1191.6241	103.2214	1.051394	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.708
07/03/2016 01:15:00	3.41755	3.4356	10.04841	102.4938	105.268	1191.2931	103.2386	1.032208	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.744
07/03/2016 14:00:00	3.41244	3.4378	10.05445	102.5554	101.191	1190.7312	103.2611	1.423455	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.375
07/03/2016 14:50:00	3.41441	3.4381	10.05497	102.5607	101.925	1192.0389	103.3054	1.411876	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.431
07/03/2016 16:35:00	3.4093	3.4414	10.04959	102.5058	104.003	1191.3256	103.2672	1.44526	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.36
07/04/2016 10:25:00	3.40662	3.4368	10.04285	102.437	104.198	1191.575	103.2411	0.930479	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.848
07/04/2016 12:00:00	3.39705	3.4387	10.07536	102.7687	107.661	1190.9918	103.5812	1.044428	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	105.075
07/04/2016 13:45:00	3.40515	3.4382	10.04941	102.504	107.723	1190.3821	103.1926	1.017709	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.713
07/07/2016 10:40:00	3.40758	3.4379	10.04637	102.473	105.658	1192.2252	103.2503	1.528978	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.259
07/09/2016 18:35:00	3.43224	3.4463	10.04679	102.4772	102.177	1192.0863	103.1848	1.510362	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.212
07/09/2016 19:30:00	3.41895	3.4426	10.04932	102.5031	103.268	1190.7538	103.2299	1.52057	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.247

Tabla 68: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 2									
	Estación	Marc III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/09/2016 22:25:00	3.43225	3.4449	10.05161	102.5264	107.165	1192.7711	103.237	1.517789	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.257
07/09/2016 23:30:00	3.42588	3.4357	10.04763	102.4858	103.544	1190.7214	103.2057	1.375576	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.368
07/10/2016 00:30:00	3.42473	3.4457	10.0493	102.5029	104.843	1191.5839	103.2363	1.411154	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.363
07/10/2016 05:25:00	3.41961	3.4365	10.04943	102.5042	104.499	1191.6582	103.223	1.506289	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.254
07/10/2016 07:10:00	3.40819	3.437	10.04508	102.4598	105.668	1190.1801	103.2347	1.564494	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.208
07/10/2016 10:35:00	3.41979	3.4375	10.04789	102.4885	105.847	1191.3998	103.3509	1.622342	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.266
07/10/2016 12:30:00	3.42152	3.4421	10.04883	102.4981	106.317	1191.4905	103.2723	1.634444	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.176
07/10/2016 14:25:00	3.41189	3.4363	10.04527	102.4617	102.615	1191.3005	103.2169	1.492376	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.262
07/10/2016 16:15:00	3.41701	3.4353	10.04537	102.4627	105.504	1191.1219	103.2168	1.590419	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.164
07-14-2016 17:30:00	3.42152	3.4484	10.04854	102.4951	103.684	1190.9348	103.2589	1.435654	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.361
07-14-2016 18:20:00	3.42029	3.4386	10.04651	102.4744	100.949	1190.8004	103.258	1.337262	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.458
07-14-2016 19:50:00	3.42347	3.4364	10.04611	102.4703	105.114	1191.027	103.2601	1.481493	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.316
07-14-2016 21:25:00	3.42235	3.4384	10.04481	102.457	102.604	1191.5759	103.2448	1.386328	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.396
07-14-2016 22:10:00	3.41835	3.435	10.04613	102.4705	104.219	1191.439	103.2115	1.438487	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.311
07-14-2016 23:45:00	3.42353	3.4352	10.04586	102.4678	101.459	1192.1573	103.2636	1.323266	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.478

Tabla 69: Rendimiento Unidad N° 2 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsi ^o n (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 2									
	Estació n	Marc a III					P Descarg a m.c.a	P succión m.c.a	Caud al m³/s	Área m2	Área m2	Diámetr o m	Diámetr o m	V descarg a m/s	V succión m/s	ADT
07-15-2016 00:35:00	3.4099 6	3.441 4	10.0480 7	102.490 4	97.806 1	1191.04 1	103.257 4	1.18270 3	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.61 2
07-15-2016 01:20:00	3.4130 2	3.446 3	10.0482 8	102.492 5	102.14 5	1191.69 91	103.202 1	1.32561 8	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.41 4
07-15-2016 02:10:00	3.4040 3	3.438 1	10.0469	102.478 4	99.5	1191.17 59	103.212 4	1.22299 3	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.52 7
07-15-2016 02:55:00	3.4281 7	3.442 5	10.0474 9	102.484 4	104.43 4	1191.62 78	103.201 4	1.38984 9	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.34 9
07-15-2016 03:45:00	3.4192 2	3.443 6	10.0443 2	102.452 1	100.58 3	1192.45 09	103.177 9	1.23095 2	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.48 5
07-15-2016 04:30:00	3.4209 7	3.439 5	10.0508	102.518 1	105.23 2	1191.37 33	103.261	1.37547 1	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.42 3
07-15-2016 06:15:00	3.4110 1	3.434 9	10.0472 8	102.482 3	98.528 4	1192.10 83	103.158 9	1.14471 6	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.55 2
07-15-2016 09:25:00	3.4132 8	3.446 6	10.0473 5	102.482 9	103.19 1	1191.46 12	103.228 1	1.30031 8	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.46 5
07-15-2016 10:15:00	3.4042 8	3.436 8	10.0476 4	102.485 9	100.05 5	1190.99 68	103.290 2	1.18263 9	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.64 5
07-15-2016 11:45:00	3.4126 9	3.459 7	10.0489 5	102.499 3	104.62 6	1191.13 85	103.322 1	1.31112 6	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.54 9
07-15-2016 13:20:00	3.4115 5	3.439 4	10.0491 4	102.501 2	98.186 4	1190.98 19	103.267 1	1.07011 2	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.73 5
07-15-2016 14:00:00	3.4249 6	3.463 7	10.0515 3	102.525 6	106.06 1	1191.24 23	103.277 6	1.30049 1	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.51 5
07-15-2016 17:05:00	3.4099 1	3.433 8	10.0521 9	102.532 3	103.67 2	1191.03 1	103.271 4	1.13469 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.67 4
07-16-2016 02:55:00	3.4106 9	3.437 4	10.0428 3	102.436 9	106.79 2	1191.40 38	103.111 5	1.09151	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.55 8
07-18-2016 03:35:00	3.4092 7	3.439	10.0432 6	102.441 3	107.84 8	1191.71 62	103.213 7	1.20105 2	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.55

Tabla 70: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 3									
	Estación	Marc a III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caud al m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/01/2016 00:35:00	3.4322	3.4524	10.04867	102.4964	100.869	1192.9568	103.4028	1.483837	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.457
07/02/2016 14:40:00	3.40446	3.4405	10.05021	102.5121	101.589	1191.9066	103.3811	1.287127	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.632
07/02/2016 15:35:00	3.42002	3.4429	10.04962	102.5061	103.237	1192.9374	103.4157	1.349405	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.604
07/02/2016 16:25:00	3.41284	3.4391	10.04813	102.491	103.927	1191.5753	103.4415	1.357017	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.622
07/02/2016 18:10:00	3.41934	3.4366	10.05114	102.5216	104.013	1192.6597	103.3756	1.351051	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.562
07/03/2016 01:15:00	3.41755	3.4356	10.04841	102.4938	105.268	1192.08	103.4268	1.339837	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.625
07/03/2016 14:00:00	3.41244	3.4378	10.05445	102.5554	101.191	1191.595	103.466	1.101129	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.903
07/03/2016 14:50:00	3.41441	3.4381	10.05497	102.5607	101.925	1193.0439	103.4917	1.162848	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.867
07/03/2016 16:35:00	3.4093	3.4414	10.04959	102.5058	104.003	1192.2297	103.4296	1.246571	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.721
07/04/2016 10:25:00	3.40662	3.4368	10.04285	102.437	104.198	1192.3557	103.4699	1.277009	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.731
07/04/2016 12:00:00	3.39705	3.4387	10.07536	102.7687	107.661	1192.1375	103.7754	1.405683	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.907
07/04/2016 13:45:00	3.40515	3.4382	10.04941	102.504	107.723	1191.5444	103.4602	1.372323	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.626
07/07/2016 10:40:00	3.40758	3.4379	10.04637	102.473	105.658	1193.2635	103.4025	1.001439	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.939
07/09/2016 18:35:00	3.43224	3.4463	10.04679	102.4772	102.177	1192.9923	103.4613	1.415569	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.584
07/09/2016 19:30:00	3.41895	3.4426	10.04932	102.5031	103.268	1191.8608	103.4834	1.453027	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.568

Tabla 71: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 3									
	Estación	Marc III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/09/2016 22:25:00	3.4322 5	3.444 9	10.0516 1	102.526 4	107.16 5	1193.533 2	103.468 5	1.49756 4	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.50 9
07/09/2016 23:30:00	3.4258 8	3.435 7	10.0476 3	102.485 8	103.54 4	1191.772 3	103.428	1.34512 2	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.62 1
07/10/2016 00:30:00	3.4247 3	3.445 7	10.0493	102.502 9	104.84 3	1192.385 6	103.421 1	1.36476 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.59 4
07/10/2016 05:25:00	3.4196 1	3.436 5	10.0494 3	102.504 2	104.49 9	1192.646 5	103.398 2	1.25344 9	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.68 2
07/10/2016 07:10:00	3.4081 9	3.437	10.0450 8	102.459 8	105.66 8	1191.095 9	103.401 8	1.29358 1	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.64 6
07/10/2016 10:35:00	3.4197 9	3.437 5	10.0478 9	102.488 5	105.84 7	1192.041 9	103.509	1.28367 8	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.76 3
07/10/2016 12:30:00	3.4215 2	3.442 1	10.0488 3	102.498 1	106.31 7	1192.308 6	103.466	1.34448 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.65 9
07/10/2016 14:25:00	3.4118 9	3.436 3	10.0452 7	102.461 7	102.61 5	1192.180 7	103.398 9	1.18858 3	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.74 8
07/10/2016 16:15:00	3.4170 1	3.435 3	10.0453 7	102.462 7	105.50 4	1192.099 5	103.419 3	1.23473 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.72 2
07/14/2016 17:30:00	3.4215 2	3.448 4	10.0485 4	102.495 1	103.68 4	1192.035 2	103.477 1	1.47144 9	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.54 3
07/14/2016 18:20:00	3.4202 9	3.438 6	10.0465 1	102.474 4	100.94 9	1191.807 3	103.483 6	1.40234	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.61 9
07/14/2016 19:50:00	3.4234 7	3.436 4	10.0461 1	102.470 3	105.11 4	1192.156 5	103.463 9	1.56182	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.44
07/14/2016 21:25:00	3.4223 5	3.438 4	10.0448 1	102.457	102.60 4	1192.327 4	103.451 3	1.48113 1	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.50 8
07/14/2016 22:10:00	3.4183 5	3.435	10.0461 3	102.470 5	104.21 9	1192.364 1	103.415 8	1.54229 6	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.41 1
07/14/2016 23:45:00	3.4235 3	3.435 2	10.0458 6	102.467 8	101.45 9	1192.859 4	103.407 8	1.43908 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.50 6

Tabla 72: Rendimiento Unidad N° 3 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 3									
	Estación	Marc a III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caud al m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/15/2016 00:35:00	3.40996	3.4414	10.04807	102.4904	97.8061	1191.7336	103.4696	1.310364	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.697
07/15/2016 01:20:00	3.41302	3.4463	10.04828	102.4925	102.145	1192.3829	103.4803	1.370642	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.647
07/15/2016 02:10:00	3.40403	3.4381	10.0469	102.4784	99.5	1192.2112	103.4068	1.234454	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.71
07/15/2016 02:55:00	3.42817	3.4425	10.04749	102.4844	104.434	1192.6094	103.5066	1.397972	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.646
07/15/2016 03:45:00	3.41922	3.4436	10.04432	102.4521	100.583	1193.189	103.456	1.247647	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.746
07/15/2016 06:10:00	3.42303	3.4379	10.04532	102.4623	107.172	1191.7897	103.4297	1.454516	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.513
07/15/2016 06:15:00	3.41101	3.4349	10.04728	102.4823	98.5284	1192.8618	103.4174	1.157765	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.797
07/15/2016 09:25:00	3.41328	3.4466	10.04735	102.4829	103.191	1192.2115	103.5127	1.317092	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.733
07/15/2016 10:15:00	3.40428	3.4368	10.04764	102.4859	100.055	1192.1323	103.5548	1.182218	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.91
07/15/2016 11:45:00	3.41269	3.4597	10.04895	102.4993	104.626	1192.1515	103.5395	1.305463	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.772
07/15/2016 13:20:00	3.41155	3.4394	10.04914	102.5012	98.1864	1192.1627	103.4868	1.052688	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.972
07/15/2016 14:00:00	3.42496	3.4637	10.05153	102.5256	106.061	1192.1694	103.5553	1.304809	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.788
07/15/2016 17:05:00	3.40991	3.4338	10.05219	102.5323	103.672	1191.9297	103.4745	1.180759	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.831
07/16/2016 02:55:00	3.41069	3.4374	10.04283	102.4369	106.792	1192.1736	103.3434	1.138402	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.743
07/18/2016 03:35:00	3.40927	3.439	10.04326	102.4413	107.848	1192.4885	103.3926	1.107536	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.823

Tabla 73: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 4									
	Estación	Marc III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/01/2016 00:35:00	3.4322	3.4524	10.04867	102.4964	100.869	1193.0192	103.5393	1.577118	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.5
07/02/2016 14:40:00	3.40446	3.4405	10.05021	102.5121	101.589	1191.7299	103.6078	1.298286	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.847
07/02/2016 15:35:00	3.42002	3.4429	10.04962	102.5061	103.237	1192.5522	103.6127	1.341431	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.809
07/02/2016 16:25:00	3.41284	3.4391	10.04813	102.491	103.927	1191.1002	103.655	1.358036	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.835
07/02/2016 18:10:00	3.41934	3.4366	10.05114	102.5216	104.013	1192.2684	103.6636	1.348552	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.853
07/03/2016 01:15:00	3.41755	3.4356	10.04841	102.4938	105.268	1191.9473	103.6394	1.375941	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.801
07/03/2016 14:00:00	3.41244	3.4378	10.05445	102.5554	101.191	1191.5355	103.7314	1.178352	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	105.091
07/03/2016 14:50:00	3.41441	3.4381	10.05497	102.5607	101.925	1192.6052	103.6908	1.181539	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	105.047
07/03/2016 16:35:00	3.4093	3.4414	10.04959	102.5058	104.003	1191.939	103.6214	1.23389	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.925
07/04/2016 10:25:00	3.40662	3.4368	10.04285	102.437	104.198	1191.9968	103.6097	1.258889	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.889
07/04/2016 12:00:00	3.39705	3.4387	10.07536	102.7687	107.661	1191.6659	103.9876	1.376882	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	105.148
07/04/2016 13:45:00	3.40515	3.4382	10.04941	102.504	107.723	1191.183	103.573	1.359836	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.751
07/07/2016 10:40:00	3.40758	3.4379	10.04637	102.473	105.658	1192.9619	103.6667	0.960765	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	105.244
07/09/2016 18:35:00	3.43224	3.4463	10.04679	102.4772	102.177	1192.4241	103.5431	1.580617	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.5
07/09/2016 19:30:00	3.41895	3.4426	10.04932	102.5031	103.268	1191.4677	103.6005	1.54398	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.594

Tabla 74: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsión (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 4									
	Estación	Marc III					P Descarga m.c.a	P succión m.c.a	Caudal m³/s	Área m²	Área m²	Diámetro m	Diámetro m	V descarga m/s	V succión m/s	ADT
07/09/2016 22:25:00	3.43225	3.4449	10.05161	102.5264	107.165	1193.4528	103.7138	1.668225	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.583
07/09/2016 23:30:00	3.42588	3.4357	10.04763	102.4858	103.544	1191.2704	103.5711	1.547327	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.561
07/10/2016 00:30:00	3.42473	3.4457	10.0493	102.5029	104.843	1192.0927	103.6366	1.587806	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.586
07/10/2016 05:25:00	3.41961	3.4365	10.04943	102.5042	104.499	1192.4445	103.5053	1.543905	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.499
07/10/2016 07:10:00	3.40819	3.437	10.04508	102.4598	105.668	1190.667	103.5817	1.623219	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.496
07/10/2016 10:35:00	3.41979	3.4375	10.04789	102.4885	105.847	1191.6566	103.6878	1.596869	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.629
07/10/2016 12:30:00	3.42152	3.4421	10.04883	102.4981	106.317	1191.9337	103.594	1.580742	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.551
07/10/2016 14:25:00	3.41189	3.4363	10.04527	102.4617	102.615	1191.7742	103.6371	1.338282	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.837
07/10/2016 16:15:00	3.41701	3.4353	10.04537	102.4627	105.504	1191.8145	103.5762	1.422027	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.692
07/14/2016 17:30:00	3.42152	3.4484	10.04854	102.4951	103.684	1191.6387	103.5442	1.614384	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.468
07/14/2016 18:20:00	3.42029	3.4386	10.04651	102.4744	100.949	1191.6666	103.7107	1.487082	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.761
07/14/2016 19:50:00	3.42347	3.4364	10.04611	102.4703	105.114	1191.8157	103.6903	1.625936	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.602
07/14/2016 21:25:00	3.42235	3.4384	10.04481	102.457	102.604	1192.0121	103.6508	1.536946	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.652
07/14/2016 22:10:00	3.41835	3.435	10.04613	102.4705	104.219	1191.9506	103.6683	1.572818	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.633
07/14/2016 23:45:00	3.42353	3.4352	10.04586	102.4678	101.459	1192.7571	103.6247	1.450522	0.877	0.1366	0.6362	0.417	0.9	6.421501	1.378554	104.712

Tabla 75: Rendimiento Unidad N° 4 periodo 2016.

FECHA	FLUJO		Impulsió n (Bar).	Imp. (mlc).	Nivel Poza	Motor 01 RPM	Unidad N° 4									
	Estació n	Marc a III					P Descarg a m.c.a	P succión m.c.a	Caud al m³/s	Área m2	Área m2	Diámetr o m	Diámetr o m	V descarg a m/s	V succión m/s	ADT
07/15/2016 00:35:00	3.4099 6	3.441 4	10.0480 7	102.490 4	97.806 1	1191.66 78	103.550 8	1.39518 7	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.69 3
07/15/2016 01:20:00	3.4130 2	3.446 3	10.0482 8	102.492 5	102.14 5	1192.08	103.595 4	1.57117 3	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.56 2
07/15/2016 03:45:00	3.4192 2	3.443 6	10.0443 2	102.452 1	100.58 3	1192.99 85	103.490 5	1.50606 7	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.52 2
07/15/2016 04:30:00	3.4209 7	3.439 5	10.0508	102.518 1	105.23 2	1191.96 52	103.571 7	1.68094 3	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.42 8
07/15/2016 05:20:00	3.417	3.435 1	10.0461 1	102.470 3	104.84 6	1191.96	103.436 7	1.67732 9	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.29 7
07/15/2016 06:10:00	3.4230 3	3.437 9	10.0453 2	102.462 3	107.17 2	1191.48 82	103.542 1	1.77046 9	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.30 9
07/15/2016 06:15:00	3.4110 1	3.434 9	10.0472 8	102.482 3	98.528 4	1192.56 23	103.537 2	1.46267 8	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.61 2
07/15/2016 09:25:00	3.4132 8	3.446 6	10.0473 5	102.482 9	103.19 1	1191.95 63	103.590 1	1.64772 4	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.48
07/15/2016 10:15:00	3.4042 8	3.436 8	10.0476 4	102.485 9	100.05 5	1191.68 4	103.681 7	1.52888 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.69 1
07/15/2016 11:45:00	3.4126 9	3.459 7	10.0489 5	102.499 3	104.62 6	1191.72 16	103.672 1	1.65949 6	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.55
07/15/2016 13:20:00	3.4115 5	3.439 4	10.0491 4	102.501 2	98.186 4	1192.02 71	103.675 9	1.42008 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.79 3
07/15/2016 14:00:00	3.4249 6	3.463 7	10.0515 3	102.525 6	106.06 1	1192.02 94	103.627 2	1.67532 6	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.49
07/15/2016 17:05:00	3.4099 1	3.433 8	10.0521 9	102.532 3	103.67 2	1191.71 92	103.530 1	1.60423 5	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.46 4
07/16/2016 02:55:00	3.4106 9	3.437 4	10.0428 3	102.436 9	106.79 2	1191.81 23	103.507 9	1.73776 3	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.30 8
07/18/2016 03:35:00	3.4092 7	3.439	10.0432 6	102.441 3	107.84 8	1192.32 09	103.439 2	1.63965 8	0.877	0.136 6	0.636 2	0.417	0.9	6.42150 1	1.37855 4	104.33 7

Tabla de Control de descarga.

Tabla 76: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m³/s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4489.50	4477.23	2.63	0.60	12.27	0.314	0.90
4489.45	4477.23	2.63	0.60	12.22	0.315	0.90
4489.37	4477.23	2.63	0.60	12.14	0.316	0.90
4489.29	4477.23	2.63	0.60	12.06	0.317	0.90
4489.22	4477.23	2.63	0.60	11.99	0.318	0.90
4489.15	4477.23	2.63	0.60	11.92	0.319	0.90
4489.07	4477.23	2.63	0.60	11.84	0.320	0.90
4489.00	4477.23	2.63	0.60	11.77	0.321	0.90
4488.92	4477.23	2.63	0.60	11.69	0.322	0.90
4488.85	4477.23	2.63	0.60	11.62	0.323	0.90
4488.78	4477.23	2.63	0.60	11.55	0.324	0.90
4488.71	4477.23	2.63	0.60	11.48	0.325	0.90
4488.64	4477.23	2.63	0.60	11.41	0.326	0.90
4488.57	4477.23	2.63	0.60	11.34	0.327	0.90
4488.50	4477.23	2.63	0.60	11.27	0.328	0.90
4488.43	4477.23	2.63	0.60	11.20	0.329	0.90
4488.36	4477.23	2.63	0.60	11.13	0.330	0.90
4488.30	4477.23	2.63	0.60	11.07	0.331	0.90
4488.23	4477.23	2.63	0.60	11.00	0.332	0.90
4488.17	4477.23	2.63	0.60	10.94	0.333	0.90
4488.10	4477.23	2.63	0.60	10.87	0.334	0.90
4488.03	4477.23	2.63	0.60	10.80	0.335	0.90
4487.97	4477.23	2.63	0.60	10.74	0.336	0.90
4487.91	4477.23	2.63	0.60	10.68	0.337	0.90
4487.84	4477.23	2.63	0.60	10.61	0.338	0.90
4487.78	4477.23	2.63	0.60	10.55	0.339	0.90
4487.72	4477.23	2.63	0.60	10.49	0.340	0.90
4487.66	4477.23	2.63	0.60	10.43	0.341	0.90
4487.60	4477.23	2.63	0.60	10.37	0.342	0.90
4487.54	4477.23	2.63	0.60	10.31	0.343	0.90
4487.48	4477.23	2.63	0.60	10.25	0.344	0.90
4487.42	4477.23	2.63	0.60	10.19	0.345	0.90
4487.36	4477.23	2.63	0.60	10.13	0.346	0.90
4487.30	4477.23	2.63	0.60	10.07	0.347	0.90
4487.24	4477.23	2.63	0.60	10.01	0.348	0.90
4487.19	4477.23	2.63	0.60	9.96	0.349	0.90
4487.13	4477.23	2.63	0.60	9.90	0.350	0.90
4487.07	4477.23	2.63	0.60	9.84	0.351	0.90
4487.02	4477.23	2.63	0.60	9.79	0.352	0.90
4486.96	4477.23	2.63	0.60	9.73	0.353	0.90
4486.91	4477.23	2.63	0.60	9.68	0.354	0.90

Tabla 77: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m ³ /s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4486.85	4477.23	2.63	0.60	9.62	0.355	0.90
4486.80	4477.23	2.63	0.60	9.57	0.356	0.90
4486.74	4477.23	2.63	0.60	9.51	0.357	0.90
4486.69	4477.23	2.63	0.60	9.46	0.358	0.90
4486.64	4477.23	2.63	0.60	9.41	0.359	0.90
4486.59	4477.23	2.63	0.60	9.36	0.360	0.90
4486.53	4477.23	2.63	0.60	9.30	0.361	0.90
4486.48	4477.23	2.63	0.60	9.25	0.362	0.90
4486.43	4477.23	2.63	0.60	9.20	0.363	0.90
4486.38	4477.23	2.63	0.60	9.15	0.364	0.90
4486.33	4477.23	2.63	0.60	9.10	0.365	0.90
4486.28	4477.23	2.63	0.60	9.05	0.366	0.90
4486.23	4477.23	2.63	0.60	9.00	0.367	0.90
4486.18	4477.23	2.63	0.60	8.95	0.368	0.90
4486.14	4477.23	2.63	0.60	8.91	0.369	0.90
4486.09	4477.23	2.63	0.60	8.86	0.370	0.90
4486.04	4477.23	2.63	0.60	8.81	0.371	0.90
4485.99	4477.23	2.63	0.60	8.76	0.372	0.90
4485.95	4477.23	2.63	0.60	8.72	0.373	0.90
4485.90	4477.23	2.63	0.60	8.67	0.374	0.90
4485.85	4477.23	2.63	0.60	8.62	0.375	0.90
4485.81	4477.23	2.63	0.60	8.58	0.376	0.90
4485.76	4477.23	2.63	0.60	8.53	0.377	0.90
4485.72	4477.23	2.63	0.60	8.49	0.378	0.90
4485.67	4477.23	2.63	0.60	8.44	0.379	0.90
4485.63	4477.23	2.63	0.60	8.40	0.380	0.90
4485.58	4477.23	2.63	0.60	8.35	0.381	0.90
4485.54	4477.23	2.63	0.60	8.31	0.382	0.90
4485.50	4477.23	2.63	0.60	8.27	0.383	0.90
4485.45	4477.23	2.63	0.60	8.22	0.384	0.90
4485.41	4477.23	2.63	0.60	8.18	0.385	0.90
4485.37	4477.23	2.63	0.60	8.14	0.386	0.90
4485.33	4477.23	2.63	0.60	8.10	0.387	0.90
4485.28	4477.23	2.63	0.60	8.05	0.388	0.90
4485.24	4477.23	2.63	0.60	8.01	0.389	0.90
4485.20	4477.23	2.63	0.60	7.97	0.390	0.90
4485.16	4477.23	2.63	0.60	7.93	0.391	0.90
4485.12	4477.23	2.63	0.60	7.89	0.392	0.90
4485.08	4477.23	2.63	0.60	7.85	0.393	0.90
4485.04	4477.23	2.63	0.60	7.81	0.394	0.90
4485.00	4477.23	2.63	0.60	7.77	0.395	0.90

Tabla 78: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m³/s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4484.96	4477.23	2.63	0.60	7.73	0.396	0.90
4484.92	4477.23	2.63	0.60	7.69	0.397	0.90
4484.88	4477.23	2.63	0.60	7.65	0.398	0.90
4484.85	4477.23	2.63	0.60	7.62	0.399	0.90
4484.81	4477.23	2.63	0.60	7.58	0.400	0.90
4484.77	4477.23	2.63	0.60	7.54	0.401	0.90
4484.73	4477.23	2.63	0.60	7.50	0.402	0.90
4484.70	4477.23	2.63	0.60	7.47	0.403	0.90
4484.66	4477.23	2.63	0.60	7.43	0.404	0.90
4484.62	4477.23	2.63	0.60	7.39	0.405	0.90
4484.59	4477.23	2.63	0.60	7.36	0.406	0.90
4484.55	4477.23	2.63	0.60	7.32	0.407	0.90
4484.51	4477.23	2.63	0.60	7.28	0.408	0.90
4484.48	4477.23	2.63	0.60	7.25	0.409	0.90
4484.44	4477.23	2.63	0.60	7.21	0.410	0.90
4484.41	4477.23	2.63	0.60	7.18	0.411	0.90
4484.37	4477.23	2.63	0.60	7.14	0.412	0.90
4484.34	4477.23	2.63	0.60	7.11	0.413	0.90
4484.30	4477.23	2.63	0.60	7.07	0.414	0.90
4484.27	4477.23	2.63	0.60	7.04	0.415	0.90
4484.24	4477.23	2.63	0.60	7.01	0.416	0.90
4484.20	4477.23	2.63	0.60	6.97	0.417	0.90
4484.17	4477.23	2.63	0.60	6.94	0.418	0.90
4484.14	4477.23	2.63	0.60	6.91	0.419	0.90
4484.10	4477.23	2.63	0.60	6.87	0.420	0.90
4484.07	4477.23	2.63	0.60	6.84	0.421	0.90
4484.04	4477.23	2.63	0.60	6.81	0.422	0.90
4484.01	4477.23	2.63	0.60	6.78	0.423	0.90
4483.97	4477.23	2.63	0.60	6.74	0.424	0.90
4483.94	4477.23	2.63	0.60	6.71	0.425	0.90
4483.91	4477.23	2.63	0.60	6.68	0.426	0.90
4483.88	4477.23	2.63	0.60	6.65	0.427	0.90
4483.85	4477.23	2.63	0.60	6.62	0.428	0.90
4483.82	4477.23	2.63	0.60	6.59	0.429	0.90
4483.79	4477.23	2.63	0.60	6.56	0.430	0.90
4483.76	4477.23	2.63	0.60	6.53	0.431	0.90
4483.73	4477.23	2.63	0.60	6.50	0.432	0.90
4483.70	4477.23	2.63	0.60	6.47	0.433	0.90
4483.67	4477.23	2.63	0.60	6.44	0.434	0.90
4483.64	4477.23	2.63	0.60	6.41	0.435	0.90
4483.61	4477.23	2.63	0.60	6.38	0.436	0.90

Tabla 79: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m ³ /s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4483.58	4477.23	2.63	0.60	6.35	0.437	0.90
4483.55	4477.23	2.63	0.60	6.32	0.438	0.90
4483.52	4477.23	2.63	0.60	6.29	0.439	0.90
4483.49	4477.23	2.63	0.60	6.26	0.440	0.90
4483.46	4477.23	2.63	0.60	6.23	0.441	0.90
4483.44	4477.23	2.63	0.60	6.21	0.442	0.90
4483.41	4477.23	2.63	0.60	6.18	0.443	0.90
4483.38	4477.23	2.63	0.60	6.15	0.444	0.90
4483.35	4477.23	2.63	0.60	6.12	0.445	0.90
4483.33	4477.23	2.63	0.60	6.10	0.446	0.90
4483.30	4477.23	2.63	0.60	6.07	0.447	0.90
4483.27	4477.23	2.63	0.60	6.04	0.448	0.90
4483.24	4477.23	2.63	0.60	6.01	0.449	0.90
4483.22	4477.23	2.63	0.60	5.99	0.450	0.90
4483.19	4477.23	2.63	0.60	5.96	0.451	0.90
4483.17	4477.23	2.63	0.60	5.94	0.452	0.90
4483.14	4477.23	2.63	0.60	5.91	0.453	0.90
4483.11	4477.23	2.63	0.60	5.88	0.454	0.90
4483.09	4477.23	2.63	0.60	5.86	0.455	0.90
4483.06	4477.23	2.63	0.60	5.83	0.456	0.90
4483.04	4477.23	2.63	0.60	5.81	0.457	0.90
4483.01	4477.23	2.63	0.60	5.78	0.458	0.90
4482.99	4477.23	2.63	0.60	5.76	0.459	0.90
4482.96	4477.23	2.63	0.60	5.73	0.460	0.90
4482.94	4477.23	2.63	0.60	5.71	0.461	0.90
4482.91	4477.23	2.63	0.60	5.68	0.462	0.90
4482.89	4477.23	2.63	0.60	5.66	0.463	0.90
4482.86	4477.23	2.63	0.60	5.63	0.464	0.90
4482.84	4477.23	2.63	0.60	5.61	0.465	0.90
4482.81	4477.23	2.63	0.60	5.58	0.466	0.90
4482.79	4477.23	2.63	0.60	5.56	0.467	0.90
4482.77	4477.23	2.63	0.60	5.54	0.468	0.90
4482.74	4477.23	2.63	0.60	5.51	0.469	0.90
4482.72	4477.23	2.63	0.60	5.49	0.470	0.90
4482.70	4477.23	2.63	0.60	5.47	0.471	0.90
4482.67	4477.23	2.63	0.60	5.44	0.472	0.90
4482.65	4477.23	2.63	0.60	5.42	0.473	0.90
4482.63	4477.23	2.63	0.60	5.40	0.474	0.90
4482.60	4477.23	2.63	0.60	5.37	0.475	0.90
4482.58	4477.23	2.63	0.60	5.35	0.476	0.90
4482.56	4477.23	2.63	0.60	5.33	0.477	0.90

Tabla 80: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m ³ /s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4482.54	4477.23	2.63	0.60	5.31	0.478	0.90
4482.51	4477.23	2.63	0.60	5.28	0.479	0.90
4482.49	4477.23	2.63	0.60	5.26	0.480	0.90
4482.47	4477.23	2.63	0.60	5.24	0.481	0.90
4482.45	4477.23	2.63	0.60	5.22	0.482	0.90
4482.43	4477.23	2.63	0.60	5.20	0.483	0.90
4482.41	4477.23	2.63	0.60	5.18	0.484	0.90
4482.38	4477.23	2.63	0.60	5.15	0.485	0.90
4482.36	4477.23	2.63	0.60	5.13	0.486	0.90
4482.34	4477.23	2.63	0.60	5.11	0.487	0.90
4482.32	4477.23	2.63	0.60	5.09	0.488	0.90
4482.30	4477.23	2.63	0.60	5.07	0.489	0.90
4482.28	4477.23	2.63	0.60	5.05	0.490	0.90
4482.26	4477.23	2.63	0.60	5.03	0.491	0.90
4482.24	4477.23	2.63	0.60	5.01	0.492	0.90
4482.22	4477.23	2.63	0.60	4.99	0.493	0.90
4482.20	4477.23	2.63	0.60	4.97	0.494	0.90
4482.18	4477.23	2.63	0.60	4.95	0.495	0.90
4482.16	4477.23	2.63	0.60	4.93	0.496	0.90
4482.14	4477.23	2.63	0.60	4.91	0.497	0.90
4482.12	4477.23	2.63	0.60	4.89	0.498	0.90
4482.10	4477.23	2.63	0.60	4.87	0.499	0.90
4482.08	4477.23	2.63	0.60	4.85	0.500	0.90
4482.06	4477.23	2.63	0.60	4.83	0.501	0.90
4482.04	4477.23	2.63	0.60	4.81	0.502	0.90
4482.02	4477.23	2.63	0.60	4.79	0.503	0.90
4482.00	4477.23	2.63	0.60	4.77	0.504	0.90
4481.98	4477.23	2.63	0.60	4.75	0.505	0.90
4481.97	4477.23	2.63	0.60	4.74	0.506	0.90
4481.95	4477.23	2.63	0.60	4.72	0.507	0.90
4481.93	4477.23	2.63	0.60	4.70	0.508	0.90
4481.91	4477.23	2.63	0.60	4.68	0.509	0.90
4481.89	4477.23	2.63	0.60	4.66	0.510	0.90
4481.87	4477.23	2.63	0.60	4.64	0.511	0.90
4481.86	4477.23	2.63	0.60	4.63	0.512	0.90
4481.84	4477.23	2.63	0.60	4.61	0.513	0.90
4481.82	4477.23	2.63	0.60	4.59	0.514	0.90
4481.80	4477.23	2.63	0.60	4.57	0.515	0.90
4481.78	4477.23	2.63	0.60	4.55	0.516	0.90
4481.77	4477.23	2.63	0.60	4.54	0.517	0.90
4481.75	4477.23	2.63	0.60	4.52	0.518	0.90

Tabla 81: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m ³ /s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4481.73	4477.23	2.63	0.60	4.50	0.519	0.90
4481.71	4477.23	2.63	0.60	4.48	0.520	0.90
4481.70	4477.23	2.63	0.60	4.47	0.521	0.90
4481.68	4477.23	2.63	0.60	4.45	0.522	0.90
4481.66	4477.23	2.63	0.60	4.43	0.523	0.90
4481.65	4477.23	2.63	0.60	4.42	0.524	0.90
4481.63	4477.23	2.63	0.60	4.40	0.525	0.90
4481.61	4477.23	2.63	0.60	4.38	0.526	0.90
4481.60	4477.23	2.63	0.60	4.37	0.527	0.90
4481.58	4477.23	2.63	0.60	4.35	0.528	0.90
4481.56	4477.23	2.63	0.60	4.33	0.529	0.90
4481.55	4477.23	2.63	0.60	4.32	0.530	0.90
4481.53	4477.23	2.63	0.60	4.30	0.531	0.90
4481.51	4477.23	2.63	0.60	4.28	0.532	0.90
4481.50	4477.23	2.63	0.60	4.27	0.533	0.90
4481.48	4477.23	2.63	0.60	4.25	0.534	0.90
4481.47	4477.23	2.63	0.60	4.24	0.535	0.90
4481.45	4477.23	2.63	0.60	4.22	0.536	0.90
4481.43	4477.23	2.63	0.60	4.20	0.537	0.90
4481.42	4477.23	2.63	0.60	4.19	0.538	0.90
4481.40	4477.23	2.63	0.60	4.17	0.539	0.90
4481.39	4477.23	2.63	0.60	4.16	0.540	0.90
4481.37	4477.23	2.63	0.60	4.14	0.541	0.90
4481.36	4477.23	2.63	0.60	4.13	0.542	0.90
4481.34	4477.23	2.63	0.60	4.11	0.543	0.90
4481.33	4477.23	2.63	0.60	4.10	0.544	0.90
4481.31	4477.23	2.63	0.60	4.08	0.545	0.90
4481.30	4477.23	2.63	0.60	4.07	0.546	0.90
4481.28	4477.23	2.63	0.60	4.05	0.547	0.90
4481.27	4477.23	2.63	0.60	4.04	0.548	0.90
4481.25	4477.23	2.63	0.60	4.02	0.549	0.90
4481.24	4477.23	2.63	0.60	4.01	0.550	0.90
4481.22	4477.23	2.63	0.60	3.99	0.551	0.90
4481.21	4477.23	2.63	0.60	3.98	0.552	0.90
4481.20	4477.23	2.63	0.60	3.97	0.553	0.90
4481.18	4477.23	2.63	0.60	3.95	0.554	0.90
4481.17	4477.23	2.63	0.60	3.94	0.555	0.90
4481.15	4477.23	2.63	0.60	3.92	0.556	0.90
4481.14	4477.23	2.63	0.60	3.91	0.557	0.90
4481.12	4477.23	2.63	0.60	3.89	0.558	0.90
4481.11	4477.23	2.63	0.60	3.88	0.559	0.90

Tabla 82: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m ³ /s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4481.10	4477.23	2.63	0.60	3.87	0.560	0.90
4481.08	4477.23	2.63	0.60	3.85	0.561	0.90
4481.07	4477.23	2.63	0.60	3.84	0.562	0.90
4481.06	4477.23	2.63	0.60	3.83	0.563	0.90
4481.04	4477.23	2.63	0.60	3.81	0.564	0.90
4481.03	4477.23	2.63	0.60	3.80	0.565	0.90
4481.02	4477.23	2.63	0.60	3.79	0.566	0.90
4481.00	4477.23	2.63	0.60	3.77	0.567	0.90
4480.99	4477.23	2.63	0.60	3.76	0.568	0.90
4480.98	4477.23	2.63	0.60	3.75	0.569	0.90
4480.96	4477.23	2.63	0.60	3.73	0.570	0.90
4480.95	4477.23	2.63	0.60	3.72	0.571	0.90
4480.94	4477.23	2.63	0.60	3.71	0.572	0.90
4480.92	4477.23	2.63	0.60	3.69	0.573	0.90
4480.91	4477.23	2.63	0.60	3.68	0.574	0.90
4480.90	4477.23	2.63	0.60	3.67	0.575	0.90
4480.88	4477.23	2.63	0.60	3.65	0.576	0.90
4480.87	4477.23	2.63	0.60	3.64	0.577	0.90
4480.86	4477.23	2.63	0.60	3.63	0.578	0.90
4480.85	4477.23	2.63	0.60	3.62	0.579	0.90
4480.83	4477.23	2.63	0.60	3.60	0.580	0.90
4480.82	4477.23	2.63	0.60	3.59	0.581	0.90
4480.81	4477.23	2.63	0.60	3.58	0.582	0.90
4480.80	4477.23	2.63	0.60	3.57	0.583	0.90
4480.79	4477.23	2.63	0.60	3.56	0.584	0.90
4480.77	4477.23	2.63	0.60	3.54	0.585	0.90
4480.76	4477.23	2.63	0.60	3.53	0.586	0.90
4480.75	4477.23	2.63	0.60	3.52	0.587	0.90
4480.74	4477.23	2.63	0.60	3.51	0.588	0.90
4480.73	4477.23	2.63	0.60	3.50	0.589	0.90
4480.71	4477.23	2.63	0.60	3.48	0.590	0.90
4480.70	4477.23	2.63	0.60	3.47	0.591	0.90
4480.69	4477.23	2.63	0.60	3.46	0.592	0.90
4480.68	4477.23	2.63	0.60	3.45	0.593	0.90
4480.67	4477.23	2.63	0.60	3.44	0.594	0.90
4480.66	4477.23	2.63	0.60	3.43	0.595	0.90
4480.64	4477.23	2.63	0.60	3.41	0.596	0.90
4480.63	4477.23	2.63	0.60	3.40	0.597	0.90
4480.62	4477.23	2.63	0.60	3.39	0.598	0.90
4480.61	4477.23	2.63	0.60	3.38	0.599	0.90
4480.60	4477.23	2.63	0.60	3.37	0.600	0.90

Tabla 83: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m³/s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4480.59	4477.23	2.63	0.60	3.36	0.601	0.90
4480.58	4477.23	2.63	0.60	3.35	0.602	0.90
4480.56	4477.23	2.63	0.60	3.33	0.603	0.90
4480.55	4477.23	2.63	0.60	3.32	0.604	0.90
4480.54	4477.23	2.63	0.60	3.31	0.605	0.90
4480.53	4477.23	2.63	0.60	3.30	0.606	0.90
4480.52	4477.23	2.63	0.60	3.29	0.607	0.90
4480.51	4477.23	2.63	0.60	3.28	0.608	0.90
4480.50	4477.23	2.63	0.60	3.27	0.609	0.90
4480.49	4477.23	2.63	0.60	3.26	0.610	0.90
4480.48	4477.23	2.63	0.60	3.25	0.611	0.90
4480.47	4477.23	2.63	0.60	3.24	0.612	0.90
4480.46	4477.23	2.63	0.60	3.23	0.613	0.90
4480.45	4477.23	2.63	0.60	3.22	0.614	0.90
4480.44	4477.23	2.63	0.60	3.21	0.615	0.90
4480.43	4477.23	2.63	0.60	3.20	0.616	0.90
4480.42	4477.23	2.63	0.60	3.19	0.617	0.90
4480.40	4477.23	2.63	0.60	3.17	0.618	0.90
4480.39	4477.23	2.63	0.60	3.16	0.619	0.90
4480.38	4477.23	2.63	0.60	3.15	0.620	0.90
4480.37	4477.23	2.63	0.60	3.14	0.621	0.90
4480.36	4477.23	2.63	0.60	3.13	0.622	0.90
4480.35	4477.23	2.63	0.60	3.12	0.623	0.90
4480.34	4477.23	2.63	0.60	3.11	0.624	0.90
4480.33	4477.23	2.63	0.60	3.10	0.625	0.90
4480.32	4477.23	2.63	0.60	3.09	0.626	0.90
4480.31	4477.23	2.63	0.60	3.08	0.627	0.90
4480.30	4477.23	2.63	0.60	3.07	0.628	0.90
4480.29	4477.23	2.63	0.60	3.06	0.629	0.90
4480.29	4477.23	2.63	0.60	3.06	0.630	0.90
4480.28	4477.23	2.63	0.60	3.05	0.631	0.90
4480.27	4477.23	2.63	0.60	3.04	0.632	0.90
4480.26	4477.23	2.63	0.60	3.03	0.633	0.90
4480.25	4477.23	2.63	0.60	3.02	0.634	0.90
4480.24	4477.23	2.63	0.60	3.01	0.635	0.90
4480.23	4477.23	2.63	0.60	3.00	0.636	0.90
4480.22	4477.23	2.63	0.60	2.99	0.637	0.90
4480.21	4477.23	2.63	0.60	2.98	0.638	0.90
4480.20	4477.23	2.63	0.60	2.97	0.639	0.90
4480.19	4477.23	2.63	0.60	2.96	0.640	0.90
4480.18	4477.23	2.63	0.60	2.95	0.641	0.90

Tabla 84: Ajuste de compuerta para descarga de presa Huascacocha.

Nivel del embalse (msnm)	Nivel del fondo toma (msnm)	Q (m ³ /s)	Cd	Y ₁	a (m)	b (m)
4480.17	4477.23	2.63	0.60	2.94	0.642	0.90
4480.16	4477.23	2.63	0.60	2.93	0.643	0.90
4480.15	4477.23	2.63	0.60	2.92	0.644	0.90
4480.14	4477.23	2.63	0.60	2.91	0.645	0.90
4480.14	4477.23	2.63	0.60	2.91	0.646	0.90
4480.13	4477.23	2.63	0.60	2.90	0.647	0.90
4480.12	4477.23	2.63	0.60	2.89	0.648	0.90
4480.11	4477.23	2.63	0.60	2.88	0.649	0.90
4480.10	4477.23	2.63	0.60	2.87	0.650	0.90
4480.09	4477.23	2.63	0.60	2.86	0.651	0.90
4480.08	4477.23	2.63	0.60	2.85	0.652	0.90
4480.07	4477.23	2.63	0.60	2.84	0.653	0.90
4480.07	4477.23	2.63	0.60	2.84	0.654	0.90
4480.06	4477.23	2.63	0.60	2.83	0.655	0.90
4480.05	4477.23	2.63	0.60	2.82	0.656	0.90
4480.04	4477.23	2.63	0.60	2.81	0.657	0.90
4480.03	4477.23	2.63	0.60	2.80	0.658	0.90
4480.02	4477.23	2.63	0.60	2.79	0.659	0.90
4480.01	4477.23	2.63	0.60	2.78	0.660	0.90
4480.01	4477.23	2.63	0.60	2.78	0.661	0.90
4480.00	4477.23	2.63	0.60	2.77	0.662	0.90
4479.99	4477.23	2.63	0.60	2.76	0.663	0.90
4479.98	4477.23	2.63	0.60	2.75	0.664	0.90
4479.97	4477.23	2.63	0.60	2.74	0.665	0.90
4479.96	4477.23	2.63	0.60	2.73	0.666	0.90
4479.96	4477.23	2.63	0.60	2.73	0.667	0.90
4479.95	4477.23	2.63	0.60	2.72	0.668	0.90
4479.94	4477.23	2.63	0.60	2.71	0.669	0.90
4479.93	4477.23	2.63	0.60	2.70	0.670	0.90
4479.92	4477.23	2.63	0.60	2.69	0.671	0.90
4479.92	4477.23	2.63	0.60	2.69	0.672	0.90
4479.91	4477.23	2.63	0.60	2.68	0.673	0.90
4479.90	4477.23	2.63	0.60	2.67	0.674	0.90
4479.89	4477.23	2.63	0.60	2.66	0.675	0.90
4479.88	4477.23	2.63	0.60	2.65	0.676	0.90
4479.88	4477.23	2.63	0.60	2.65	0.677	0.90
4479.87	4477.23	2.63	0.60	2.64	0.678	0.90
4479.83	4477.23	2.63	0.60	2.60	0.683	0.90
4479.82	4477.23	2.63	0.60	2.59	0.684	0.90
4479.81	4477.23	2.63	0.60	2.58	0.685	0.90
4479.81	4477.23	2.63	0.60	2.58	0.686	0.90